

III. Physiologie

1. Aspekte zur Wärmeregulation

Hubert Schaller

a. Zusammenfassung

Die Körperwärme wird ununterbrochen reguliert. Im Feld bemerkt man diesen Vorgang nur dann, wenn besondere Temperaturverhältnisse herrschen, die ein auffälliges Verhalten provozieren. Sowohl sehr hohe als auch sehr niedrige Umgebungstemperaturen verlangen auffällige Reaktionen. Vor allem in hochnordischen Regionen erzeugen Limicolen vermutlich zusätzliche Stoffwechselwärme durch gelegentliche Flugrunden. Bei einigen amerikanischen Arten ist es nachgewiesen, dass sie mit Hilfe der sog. Thermogenese Körperwärme produzieren, indem braunes Fettgewebe in der Zelle verbrannt wird.

Wie wechselwarme Tiere suchen auch Vögel schattige bzw. besonnte Stellen, um sich zu wärmen oder im Schatten der Tageshitze auszuweichen. Im Winter wird das Gefieder aufgeplustert, allerdings nur so weit, dass die Konturfedern noch eine geschlossene Deckschicht bilden und nur das isolierende Luftpolster vergrößert wird. Vor allem Jungvögel sind auf eine "soziale Wärmeregulierung" angewiesen, indem sie sich hudern lassen oder sich eng aneinander schmiegen, besonders auffällig ist die "Wärmekugel" der jungen Schwanzmeisen. Da über den mehr oder weniger gut durchbluteten Schnabel ebenfalls viel Wärme verloren geht, wird beim Ruhen der Schnabel oft unter die Fittiche gesteckt. Eine radikale Art, mit der Wärmeenergie gespart wird, ist die Kältestarre mancher Arten.

Wenn die Kerntemperatur gefährlich ansteigt, werden sog. thermische Fenster geöffnet, wobei die Konturfedern maximal abgespreizt werden. Solche thermischen Fenster können schnell wieder geschlossen werden. Eine weitere Methode, einer Überhitzung vorzubeugen, ist das Hecheln, wobei die Verdunstungskälte auch auf der feuchten Innenfläche der kopfseitigen Luftsäcke genutzt wird. Pelikan und Kormorane erhöhen den Luftdurchsatz durch ein Kehlflattern.

Auch über die Beine kann Wärme abgegeben werden. Die *Phalacrocoracidae* (Kormorane und Scharben) brüten ihre Eier mit den Schwimmhäuten aus und kühlen ihre Kerntemperatur herunter, indem sie Blut in die Schwimmhäute pumpen und zusätzlich das Spritzwasser der Brandung nutzen. Vögel haben auch am oberen Ende des Tibiotarsus ein venöses Adergeflecht, über das arterielles Blut aus dem Körperkern wie in einem Wärmetauscher mit Hilfe des Gegenstrom-Prinzips so weit abgekühlt werden kann, dass das Blut in den Zehen und Schwimmhäuten nur etwa 0° C hat und die Füße auf dem Eis nicht anfrieren. Umgekehrt können Schwäne über die Schwimmhäute auch Sonnenwärme aufnehmen. Vogelarten, die in der Kälte ausharren, haben meist Hosen, die diesen Wärmetauscher bedecken, um nicht allzu viel Wärme zu verlieren. Vermutlich mausern z. B. Alpenstrandläufer diese Hosen weg, wenn sie ins heiße Afrika fliegen, wo sie über das Venennetz Wärme abgeben müssen.

Im Feld lassen sich für den aufmerksamen Beobachter diese Methoden der Wärmeregulierung durchaus beobachten.

b. Begriffserklärung

Unter Wärmeregulierung (Thermoregulation) versteht man in der Biologie die mehr oder weniger große Unabhängigkeit der Körpertemperatur eines Organismus von der Außenwelt. Es lassen sich wechselwarme (poikilotherme) Tiere wie Reptilien und Lurche und gleichwarme (homoiotherme) Tiere wie Säugetiere und Vögel unterscheiden. Um bei kalten bzw. hohen Außentemperaturen die Körperwärme zu halten, gibt es mehrere Möglichkeiten, die z. T. als Verhalten „im Feld“ beobachtet werden können.

c. Wärmeproduktion durch Muskeltätigkeit: Flugrunden zum Aufwärmen

So manchem Vogelkundler, der im hohen Norden einen Trupp von z. B. Kampfläufnern beobachtet hat, fiel folgendes Verhalten auf. Plötzlich flog der ganze Schwarm gleichzeitig auf. War der Beobachter schuld oder näherte sich ein Prädatör? Diese Sorge erwies sich schnell als unbegründet, weil der ganze Trupp an der selben Stelle wieder einfiel. Es wurde bei einem Familienverband von Steinwälzern beobachtet, dass der gleichzeitige Start vorbereitet wird. Das Männchen pfiß zum ersten Mal, worauf die flüggen Jungvögel gemächlich herbei liefen und sich um das Weibchen versammelten. Dann folgte wieder ein kurzer und scharfer Pfiß, worauf alle aufmerksam den Kopf hoben und zum Männchen schauten. Dann öffnete dieser nach 1 bis 2 sec kurz die Flügel und legte sie wieder an. Wiederum nach etwa 2 sec stieß er einen zweiten Pfiß aus und exakt im gleichen Sekundenbruchteil startete die gesamte Familie und flog im Konvoi davon um einige hundert Meter weiter weg wieder zu landen. (Feldprotokoll: Nordnorwegen. 20.07.2011. Tagestemperatur ca. 8° C, kräftiger Wind. Dauer der Beobachtung ca. 20 min. Ohne Störung. Siehe die folgenden Photos! Beobachter: Hanne und Hubert Schaller).

Zwar leisten im Ruhezustand die im Körperkern liegenden Organe Herz, Leber, Niere und Gehirn 70 % des Energieumsatzes und entsprechend viel tragen sie zur Wärmegewinnung bei. Haut und Muskulatur mit einem Anteil von 52% der Körpermasse liefern in Ruhe nur 18 % der gesamten Wärme. Bei Bewegung entsteht allerdings mehr Wärme in der muskulären Körperschale; dann übersteigt deren Anteil den des Kerns bei weitem.²⁸ Das ist vermutlich der wichtigste Grund, warum Limicolen in nördlichen Breiten solche „Aufwärmflüge“ veranstalten. Dass sie dazu gemeinsam starten, dient wahrscheinlich der Abwehr von Prädatoren.

Ein Muskelzittern oder Kältezittern, mit dem Insekten und Säugetiere die Körpertemperatur erhöhen, konnten wir bei Vögeln nicht beobachten. Die Nettoausbeute soll bei dieser Wärmeerzeugung allerdings auch gering sein.²⁹

²⁸ Nach: <https://de.wikipedia.org/wiki/Thermoregulation>.

²⁹ Nach: <https://de.wikipedia.org/wiki/Thermoregulation>.



Steinwälzer ♂. 20.07.2011. Nordnorwegen. Das führende Männchen wacht und steuert den Abflug. © H. Schaller.



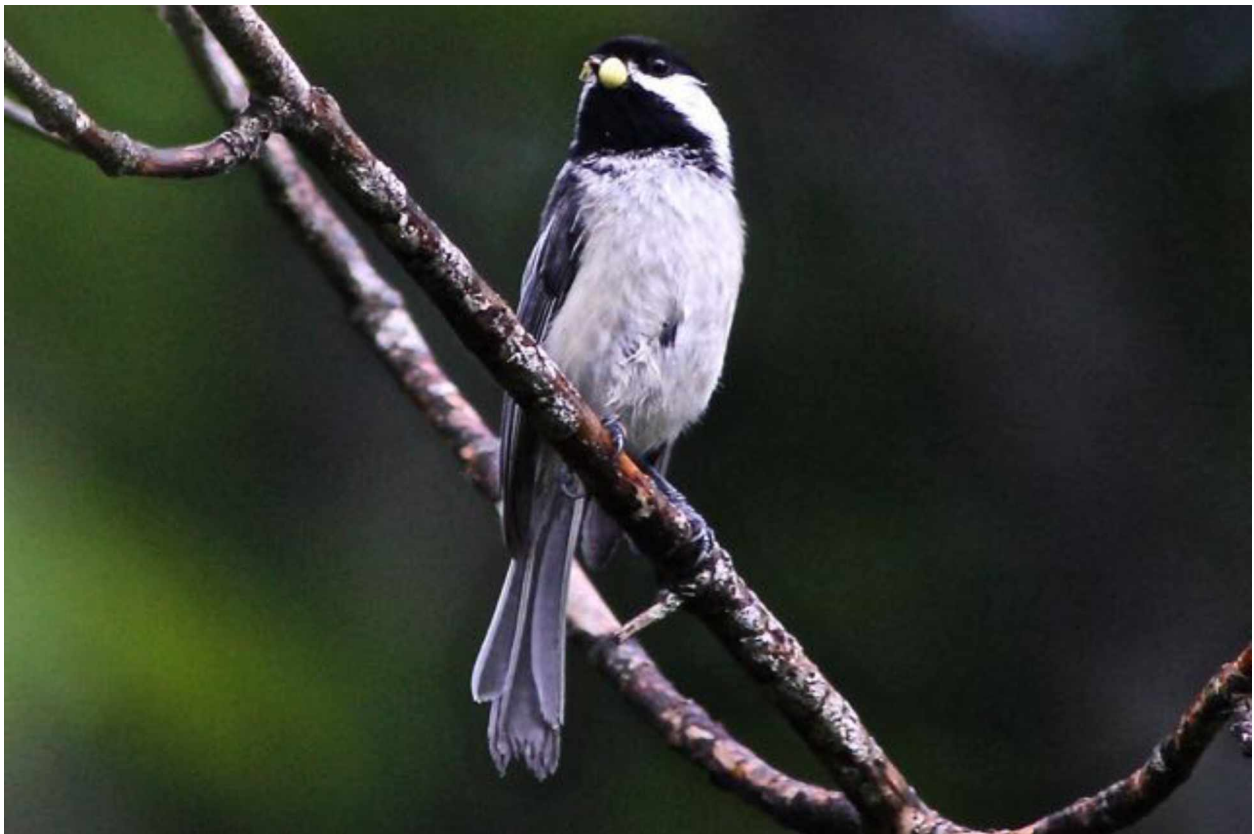
Jungvögel und Weibchen versammeln sich auf Pfiff und starteten zum Aufwärmen. © H. Schaller

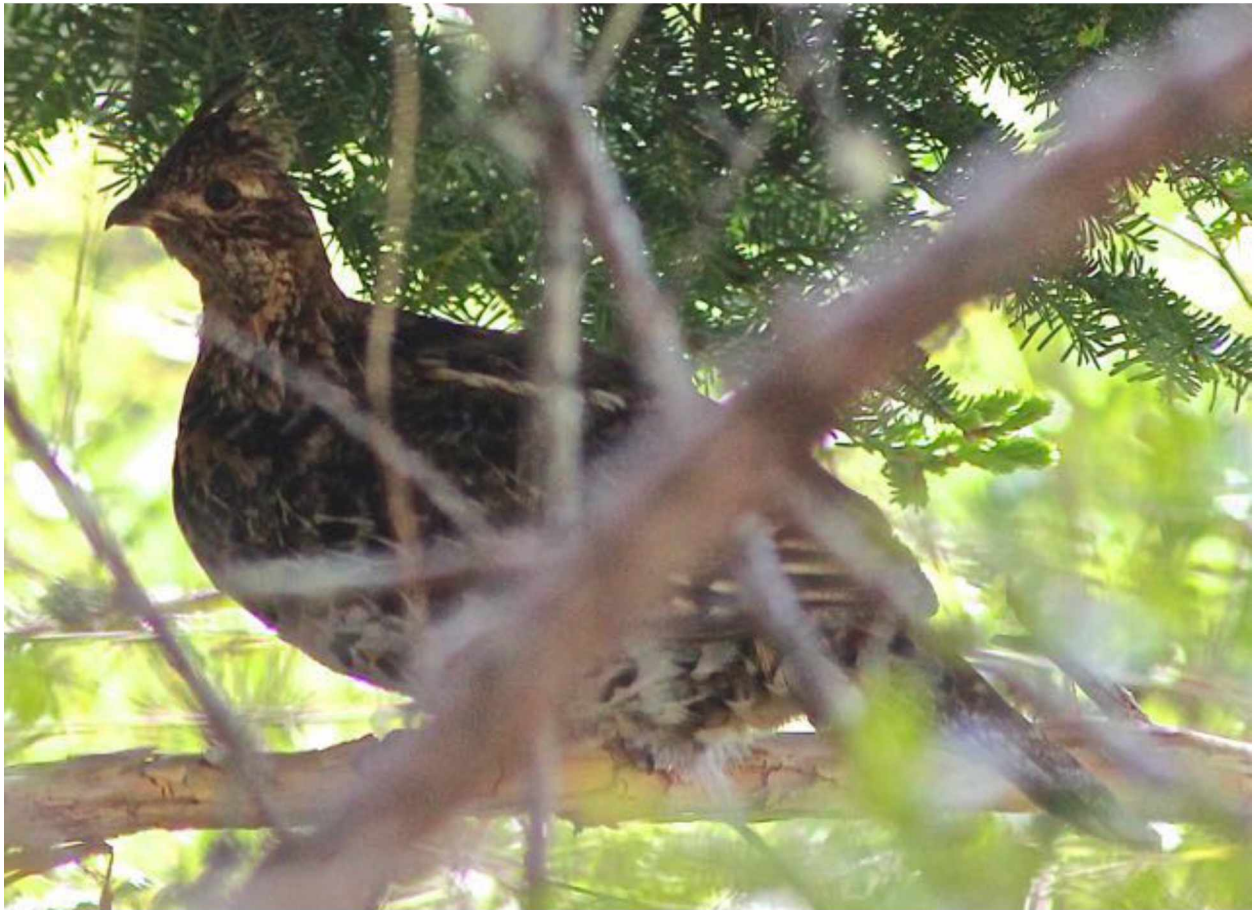
d. Wärmeezeugung im braunen Fettgewebe

Das sogenannte braune Fettgewebe findet sich fast ausschließlich bei Säugetieren und hier auch nur bei Säuglingen und bei Arten, die im erwachsenem Zustand nicht schwerer als 10 Kilogramm sind, außerdem noch bei einigen wenigen Vogelarten. (Wikipedia: Thermoregulation). Als Beispiel werden das nordamerikanische Kragenhuhn und nordamerikanische Meisen der Familie Chickadee genannt. Der Grund für diese Besonderheit ist nicht bekannt. (Stand: 1990).



Oben und unten: Schwarzkopfmeise. Black Capped Chickadee. © H. Schaller.





Kragenhuhn, Ruffed Grouse. Kanada. Nova Scotia. © H. Schaller. Auch bei dieser Art wurde das braune Fettgewebe nachgewiesen.

„Das Fett aus dem braunen Fettgewebe wird in den Zellen verbrannt. Man spricht von chemischer Wärmeerzeugung (Thermogenese). Die Wärme wird mit dem Blut abtransportiert.“³⁰

³⁰ <https://de.wikipedia.org/wiki/Thermoregulation>.

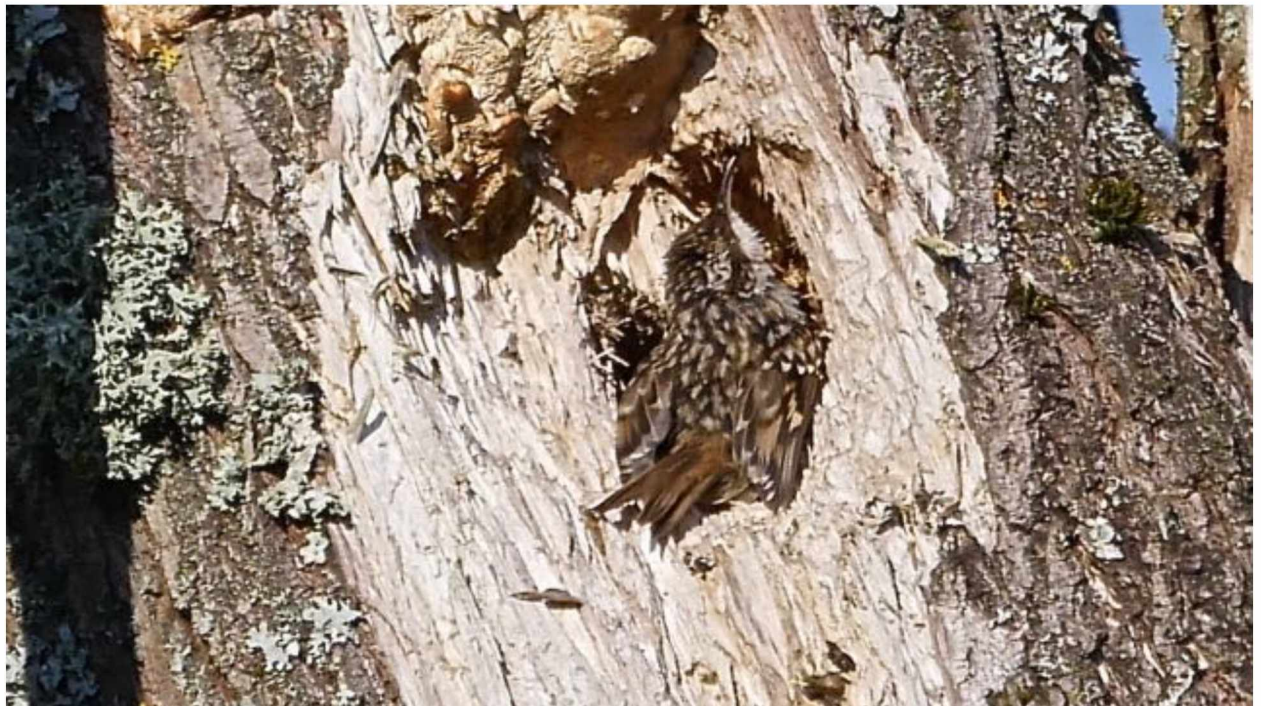
e. **Verhaltensgesteuerte Wärmeregulierung durch Ortswahl**

Wärme-Aufnahme: Nicht nur wechselwarme Tiere suchen in ihrem Habitat zum Aufheizen sonnige Stellen bzw. zum Abkühlen schattige, kühle Plätze aus, sondern auch Vögel werden vor allem im Frühjahr beim Sonnenbaden beobachtet - gerne nach einer kühlen Frühlingsnacht.

Feldprotokoll (Helmut Schwenkert): Dettelbach. 10.07.2016, ca. 7:45 Uhr. Umgebungstemperatur: ca. 24°C (Wetterstation Albertshofen). Vier Nilgans-Pulli haben sich zusammen auf dem Betonsockel eines Pollers zusammengekauert, einige davon im Schatten des Pollers, drei Pulli liegen mit abgespreizten Flügeln seitlich in der Morgensonne.



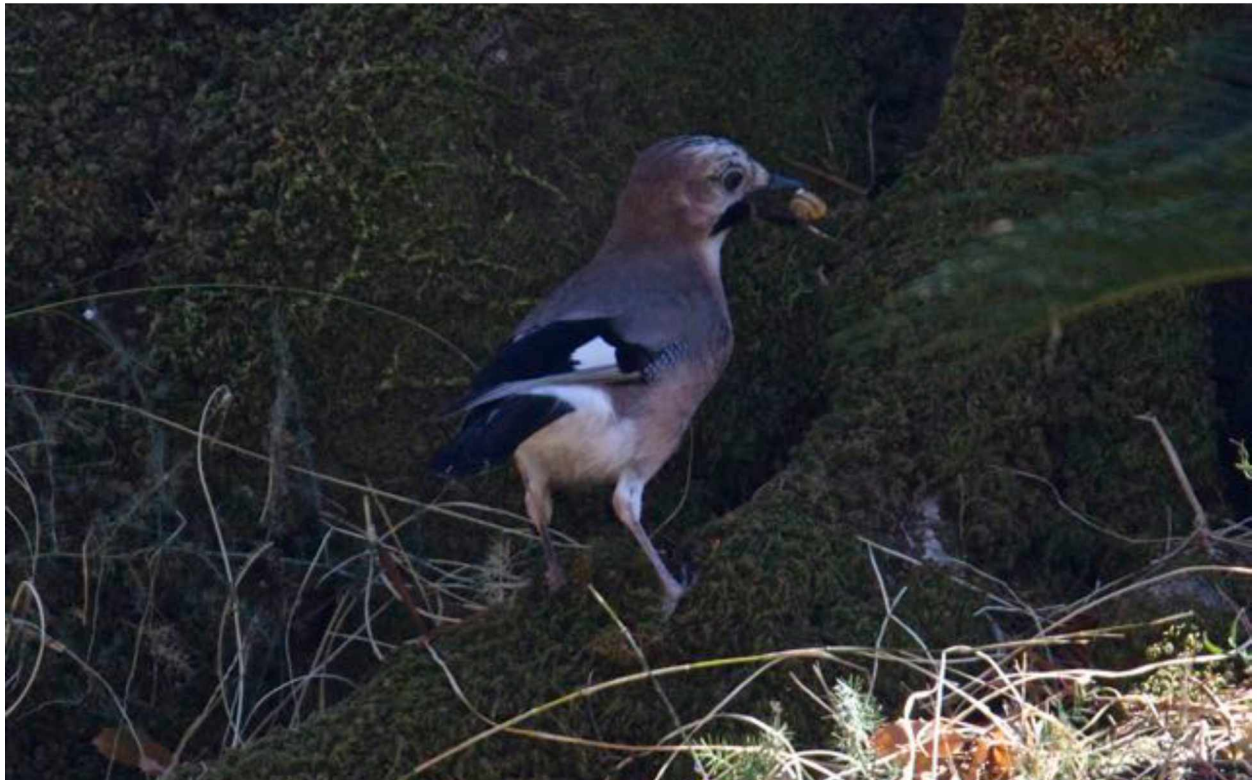
Nilgans-Pulli beim morgendlichen Sonnenbad. © H. Schwenkert



Gartenbaumläufer beim Sonnenbaden. 19.07.2016. © H. Schwenkert.

Feldprotokoll (Helmut Schwenkert): Ort: Zellinger Altschilf. 19.07.2016, gegen 19:00 Uhr. Temperatur: ca. 25°C im Schatten, ca. 30°C in der Sonne. Ein Gartenbaumläufer drückt sich mit gespreizten Flügeln und Schwanz in ein Astloch eines herunter gebrochenen Astes in einem Baum und setzt sich dabei voll der Abendsonne aus. Beobachtungsdauer etwa 1 Minute.

Schatten-Lagen gesucht: Im Sommer 2015 lagen die Tagestemperaturen so hoch, dass die Vögel eine Überhitzung vermeiden mussten. Am 05.07.2015 wurde mit 40,3 °C in Kitzingen der Hitzerekord seit 1881 gebrochen. Nun mussten vor allem schwarze Vögel auch bei uns im Schatten bleiben und ihre Aktivität in die kühleren Morgen- und Abendstunden verlegen. Die Rabenvögel flogen nur kurze Strecken und hielten sich nur im Schatten der Bäume auf. In heißen Gebieten lässt sich diese verhaltensgesteuerte Wärmeregulierung regelmäßig beobachten.



Eichelhäher sucht fast nur im Schatten Schnecken. Korfu. © H. Schaller.

f. Aufplustern des Gefieders

Durch das Aufplustern wird die Isolierung verstärkt.

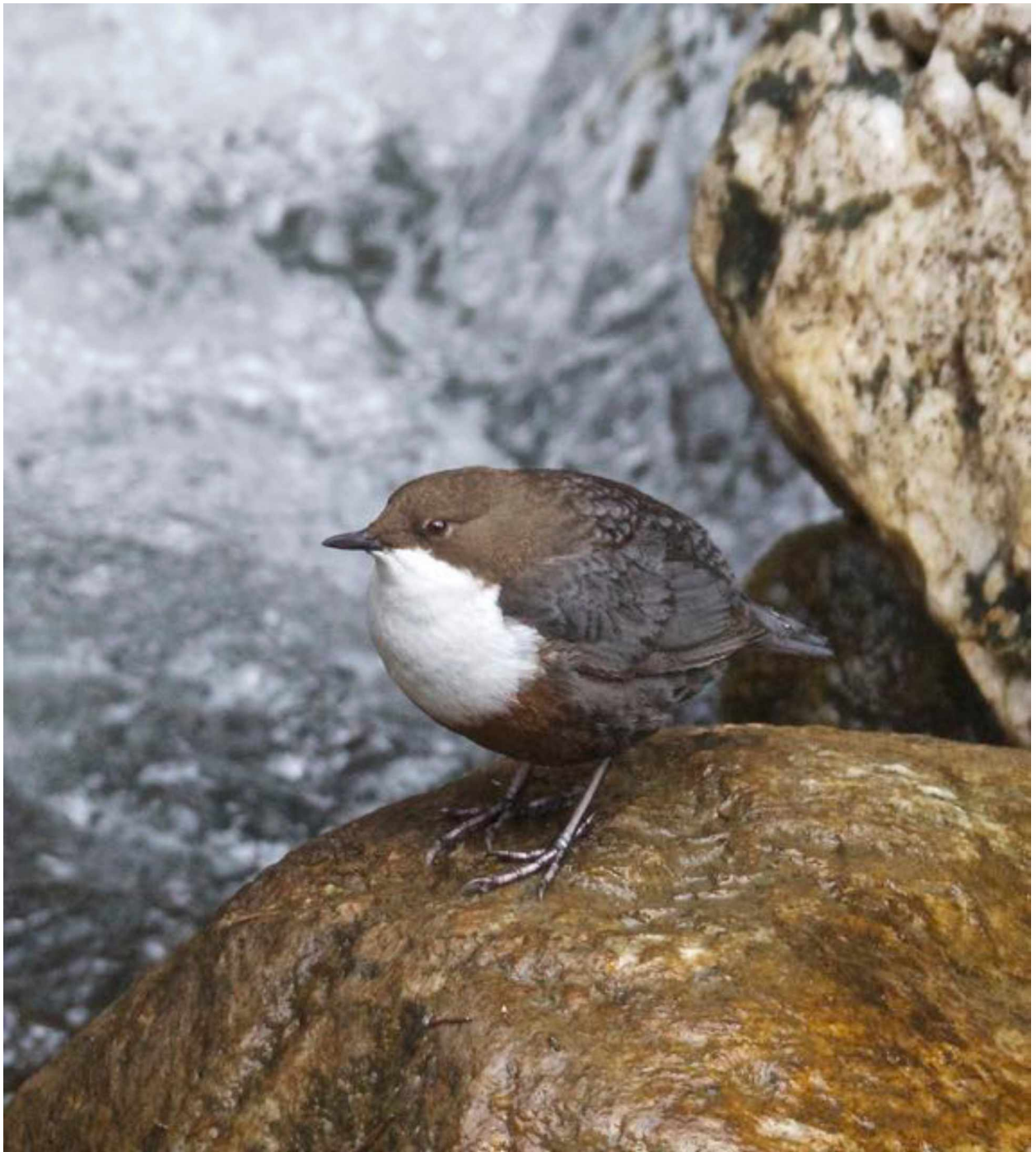
Mit Hilfe der Ringmuskulatur kann jede Konturfeder beliebig weit abgespreizt werden. Die Vögel plustern sich auf. So lange sich dabei die Konturfedern noch überdecken, gerät kalte Umgebungsluft nicht an das Dunengefieder. Es vergrößert sich nur der Luftraum innerhalb der Deckfedern. Dieser vergrößerte Luftraum wird vom Dunenkleid ausgefüllt. Wenn der Vogel sich bewegt, reiben die Dunenfedern aneinander, laden sich dadurch negativ auf und stoßen sich gegenseitig ab. Dadurch entsteht ein größtmöglicher Abstand zwischen den Ästen der Dunenfedern und ein größtmögliche isolierende Luftschicht.³¹ Damit verstärkt sich dessen isolierende Wirkung. Bei tiefen Temperaturen lässt sich dieses Verhalten am **ruhenden** Vogel oft beobachten.



Grünfinken. Der ruhende aufgeplusterte Vogel wirkt viel größer als der aktive mit angelegtem Gefieder. 27.01.2013. Würzburg. Tagestemperatur bis ca. +3°C. © H. Schwenkert.

Wasseramseln suchen ihre Nahrung auch im Winter und zur Schneeschmelze unter Wasser, das dann nur wenige Grade über 0° C hat. In den Ruhepausen plustern sie sich zu einer Kugel auf, die dank ihrer maximal verringerten Oberfläche den Wärmeverlust verringert. Dabei werden die Deckfedern aber nur so weit aufgerichtet, dass sie immer noch eine geschlossene "Decke" bilden.

³¹ Nach: Wolf-Dieter Busching: Einführung in die Gefieder- und Rupfungskunde. Aula. 2. Aufl. 2005. S. 38.



**Wasseramsel. 25.03.2016. Bei Neukirchen/Österreich. Umgebungstemperatur ca. 7°C.
Wassertemperatur ca. 1° C. © H. Schaller.**

g. Thermische Fenster

Wenn die Deckfedern durch die Ringmuskeln maximal aufgespreizt werden, dann werden thermische Fenster geöffnet, durch die Wärme abgegeben werden kann. Auch zur Gefiederpflege spreizen Vögel ihre Konturfedern maximal, damit kalte Luft oder kaltes Wasser oder beim Eichelhäher auch die Ameisensäure in den Dunenpelz eindringen kann. Auch der Eichelhäher spreizt alle Konturfedern, wenn er auf einem Ameisenhaufen ein "Bad" nimmt und die Ameisen ihn mit Ameisensäure bespritzen. Es wurde beobachtet, dass ein Buntspecht im Frühjahr bei steigenden Temperaturen sich aktiv die Winterdunen ausrupfte, um die Wärmeisolierung zu verringern³². Auch fallen bei den brütenden Weibchen und bei vielen Arten auch bei an der Brut beteiligten Männchen am Brutfleck, also am bauchseitigen Federrain (*Apteryx mesogastraei*), sämtliche Dunen aus. Auch die postnuptiale (postnuptial: nach der Paarungszeit) Mauser fällt in die heiße Jahreszeit. Dadurch entstehen sog. thermische Fenster, über die ein Vogel Wärme abgeben kann. Auch wenn ein Vogel Gefiederpartien beim Singen abspreizt oder sich mit dem Schwanz gegen den Wind stellt und der Wind die Federn abhebt, entstehen thermische Fenster. Die Deckfedern haben nur wenig isolierende Dunen an der Basis. Beim Singen wird bei den Singvögeln der unpaare Schlüsselbein-Luftsack, der mit den vorderen Brustluftsäcken verschmolzen ist³³, aufgebläht, so dass sich die Deckfedern in diesem Bereich abheben und ein Thermofenster öffnen.



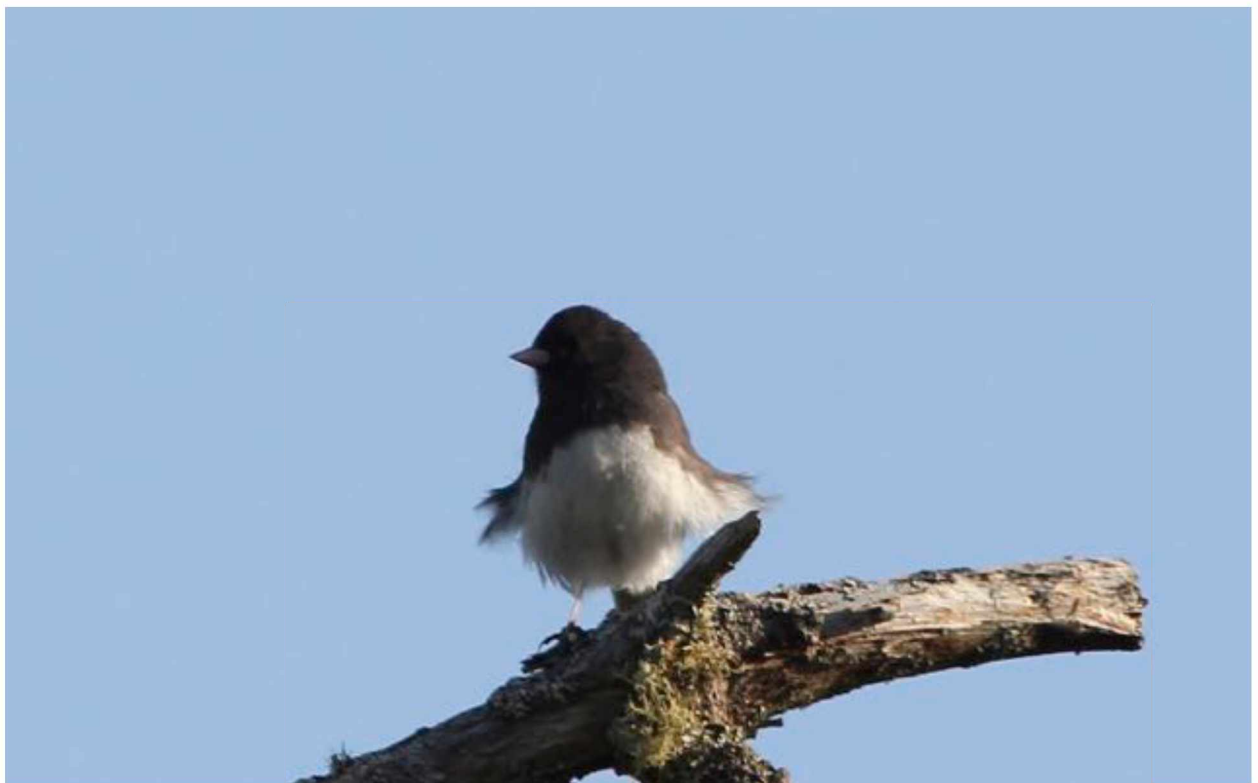
Singender Fitis. Deckfedern werden abgehoben. Umgebungstemperatur ca. 22°C. Photo: H. Schaller.

³² H. Schaller: Mauser der Winterdunen. In: OAG-Jahrbuch 2014. S. 113. Link: 2014: http://www.naturgucker.de/files/Publikationen/Jahrbuch2014OAGUfr_2.pdf

³³ Siehe: [https://de.wikipedia.org/wiki/Luftsack_\(Vogel\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Luftsack_(Vogel))



Weißkehlammer. Whitethroated Sparrow. Kanada. Der weiße "Bart" wird abgehoben. © H. Schaller.



Winterammer. Dark-eyed Junco. Kanada. © H. Schaller. Der Wind hebt die Deckfedern ab.



Juveniler Strandpieper. *Anthus petrosus*. Runde/Norwegen. 14.07.2009. Photo: H. Schaller.

Der Pullus mausert noch im Nest ins Jugendkleid, braucht aber die Dunen des bauchseitigen Federrains (des ventralen Apteriums) als Wärmeschutz, so lange er im Nest sitzt. Er mausert sie daher erst nach dem Ausfliegen. Dadurch entsteht ein thermisches Fenster, das sich beim Aufplustern öffnet.³⁴



Amselhahn mausert die Kopffedern. Mallorca. 27.08.2013. Umgebungstemperatur ca. 28 °C. Photo: H. Schaller.

³⁴ Siehe auch OAG Jahrbuch 2014. Der Brutfleck. S. 137.

Link: http://www.naturgucker.de/files/Publikationen/Jahrbuch2014OAGUfr_2.pdf

Bei starken Temperatursprüngen werden thermische Fenster zur Temperaturregulierung geöffnet.

Feldprotokoll: Singender Buchfink öffnet thermisches Fenster. Datum: 21.05.2016. Ort: Murnauer Moos. Temperatur um 8.00 h: 11°C. Rascher Temperaturanstieg bis zum Zeitpunkt der Beobachtung. Ca. 11 h : 22°C. An den vorhergegangenen Tagen lagen die Mittagstemperaturen auch tagsüber nur wenig über 10°C. (H. Schaller)

Buchfink unterbricht seinen Gesang und spreizt die Konturfedern am bauchseitigen Federflur. Dadurch öffnet sich das thermische Fenster am bauchseitigen Apterium. Durch den bei der Balz angestiegenen Östrogenspiegel sind vermutlich auch bei dem Männchen die Dunen am bauchseitigen Federrain (ventralen Apterium) mehr oder weniger ausgefallen.³⁵



Buchfink mit geöffnetem thermischem Fenster. © H. Schaller.

³⁵ Zur Problematik des Brutflecks auch bei nicht brütenden Männchen siehe OAG Jahrbuch 2014, S. 124 ff. Link:

http://www.naturgucker.de/files/Publikationen/Jahrbuch2014OAGUfr_2.pdf

Als thermische Fenster stehen jederzeit die Hautregionen um Bürzeldrüse und Kloake zur Verfügung. Bei der Gefiederpflege wird gerne auch die Körpertemperatur abgeregelt. Dabei spielt eine Rolle, dass die speziellen stiftförmigen Federn, die Kloake und Bürzeldrüse umstehen, kaum eine wärmeisolierende Wirkung haben.



Kranich hebt die Oberschwanzdecke hoch, um an die Bürzeldrüse zu kommen. 19.07.2016. 17.30 h. Schweden. Umgebungstemperatur ca. 22°C. © H. Schaller.

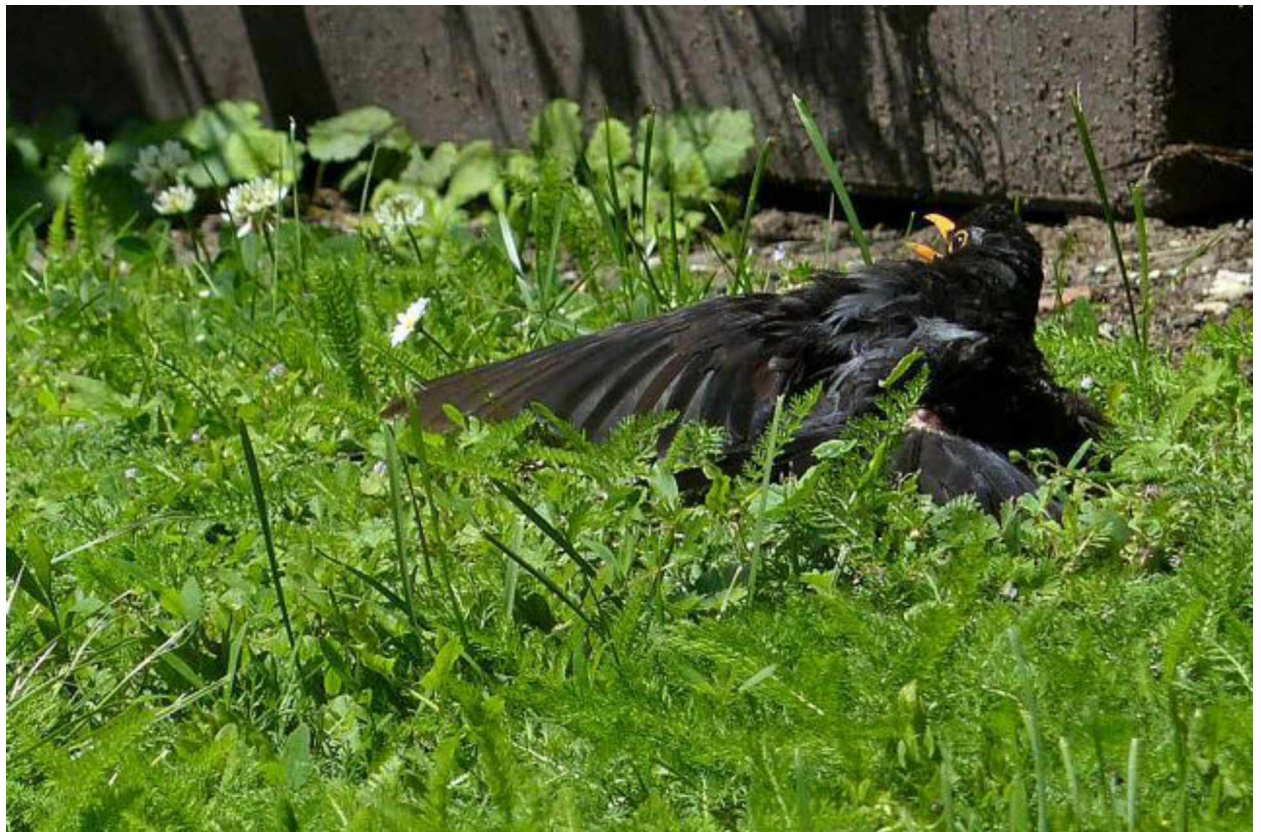


Zilpzalp im 1. Kj. öffnet ein thermisches Fenster. 13.08.2016. Tageshöchsttemperatur: 25 ° C. ©Ruppert.

Eine Hitzewelle mit bis zu 29 °C erreichte Ende Juli 2016 Mittelschweden und provozierte bei den Vögeln tagsüber besondere Maßnahmen zur Thermoregulierung, wobei Nachttemperaturen um 14 °C nach wie vor ein gut isolierendes Gefieder erforderlich machten.



Junge Schwanzmeise spreizt die stiftförmigen Federn um die Kloake und öffnet damit ein thermisches Fenster. 21.07.2016. Schweden. Umgebungstemperatur ca. 22°C. ©H. Schaller.

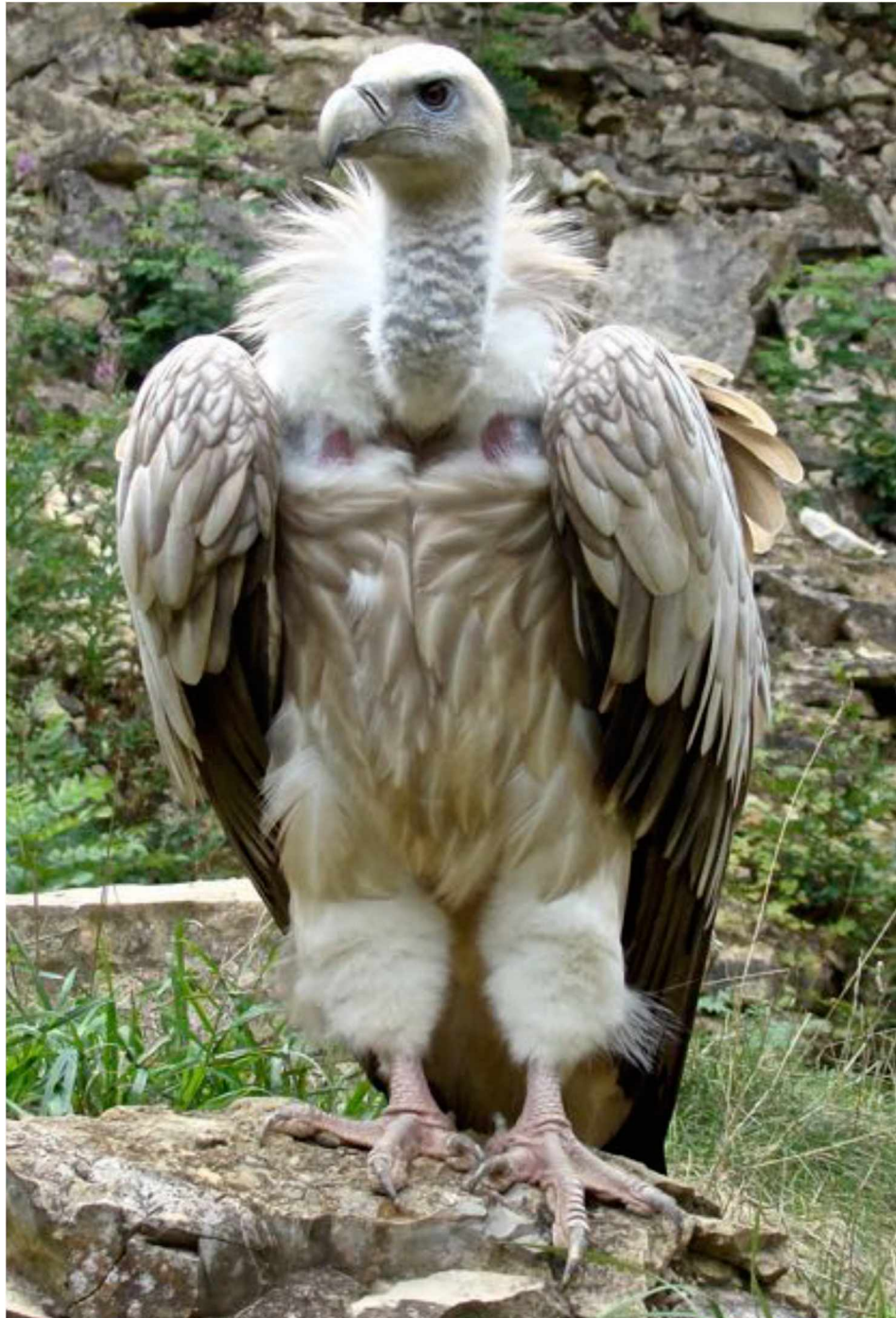


Amselhahn beim Sonnenbad hechelt und öffnet zusätzlich das thermische Fenster an der Bürzeldrüse, um eine Überhitzung zu vermeiden. © H. Schwenkert.

Feldprotokoll (H. Schwenkert): Würzburg, gegen 14:00 Uhr bei Sonnenschein und etwa 21 Grad Lufttemperatur. Ein Amselhahn liegt mehrere Sekunden mit dem Rücken zur Son-

ne mit offenem Schnabel und gespreizten Federn. Einige Sekunden später spreizt die Amsel den linken Flügel aus und legte sich noch etwas flacher auf die rechte Körperseite hin und setzt somit mehr von der linken Hälfte des Körpers der Sonne aus (siehe Photo). Dabei deckt er - so weit erkennbar - die Bürzeldrüse auf. Der ganze Beobachtungsvorgang dauert wenig mehr als eine Minute.

Sperbergeier müssen eine besondere Herausforderung bewältigen: Ihre enorme Körpergröße hat im Verhältnis zur Masse eine kleine Oberfläche für die Wärmeabgabe zur Verfügung. Sie leben nur südlich des nördlichen Wendekreises in heißen Klimazonen, segeln aber bis zu 11 000 m Höhe hinauf ³⁶, wo Temperaturen um unter minus 40°C herrschen. Ihre spezielle Lösung: Als thermische Fenster fungieren zwei völlig kahle Flecken auf der Brustoberseite, die auch bei Bedarf zugedeckt werden können.



**Sperbergeier. mit
geöffneten
thermischen
Fenstern. Zoo bei
Bad Mergentheim.
© H. Schaller.**

³⁶ <https://de.wikipedia.org/wiki/Sperbergeier>.

h. Exkurs: Zweck des Sonnenbadens bei hohen Umgebungstemperaturen.

UV-Licht: Bei hohen Umgebungstemperaturen von ca. 30 °C sollte wohl kaum Wärme aufgenommen werden. Es muss also einen anderen Grund dafür geben, dass sich gerade im Hitzesommer 2015 Singvögel in die pralle Mittagssonne legten. Es wurde früher diskutiert, ob durch die aufgespreizten Federn das UV-Licht in tiefere Bereiche des Federkleids eindringt und damit Mikroorganismen abtötet oder deren Vermehrung behindert. Das Federkleid enthält den Kot der Ektoparasiten wie Schwalbenlausfliegen, Hühnerflöhe, Federlinge, Milben - ein guter Nährboden für evt. schädliche Keime und allerdings auch für harmlose Kommensalen (Organismen, die weder in Symbiose mit dem Wirt leben, noch ihn parasitieren). In den jüngeren Darstellungen wird die Bekämpfung der Keime durch das UV-Licht allerdings kaum mehr in Erwägung gezogen, weil die Dauer des Sonnenbads nur kurz ist und ein Nutzen kaum zu erwarten sei. Keimfreie Hautpartien würden vermutlich sehr schnell wieder besiedelt werden und dann womöglich in einer für die Haut ungünstigen Mischung. Außerdem wurde nur bei UVC festgestellt, dass dieser Lichtanteil keimtötend ist, aber dabei muss bedacht werden, dass UVC durch die Ozonschicht in der Atmosphäre weggefiltert wird und den Erdboden nicht erreicht.³⁷

Allgemein geht man davon aus, dass die UV-Strahlung in der Haut die Bildung von Vitamin D ermöglicht. Vitamin D3 ist nötig für Bildung bzw. Erhalt der Knochen und für die Produktion von Federn und Krallen, den Produkten der Haut. Man hat Hühnereier geimpft mit Vitamin D(3) und hat damit erreicht, dass die Knochen der Küken stabiler geworden sind.³⁸ Für die Mauser ist eine ausreichende Produktion von Vitamin D offensichtlich unerlässlich und muss bei Käfigvögeln ohne UV-Exposition zugefüttert werden. Eben erst flügge gewordene Jungvögel haben vermutlich einen besonderen Bedarf an UV-Exposition, da sie in der Nestmulde oder in der Höhle bzw. Kasten meist nur kauern und die Zehen und Beine nicht dem Sonnenlicht ausgesetzt sind. Geier spreizen die Flügel im Sitzen ab, vielleicht aus diesem Grund. Eine ähnliche Haltung (delta-winged sunbathing posture) nehmen Graureiher ein, wenn sie sich mit halb geöffneten, hängenden Flügeln in die Sonne stellen. Männliche Amseln werden am häufigsten beim extremen Sonnenbaden beobachtet. Der Grund dafür mag u. a. sein, dass durch das geschlossene pechschwarze Gefieder des männlichen Altvogels praktisch keine UV-Strahlung dringt.

Bekämpfung von Parasiten: Diskutiert wird, ob mit den hohen Temperaturen im Federkleid Ektoparasiten vertrieben werden können³⁹ Die häufigsten Ektoparasiten sind Milben, Hühnerflöhe, Federlinge und Schwalbenlausfliegen. Der Chitinpanzer der meisten Ektoparasiten ist so stabil, dass sie kaum durch die Hitze austrocknen dürften, schon gar nicht, wenn sie Blut saugen. Am ehesten dürften die hoch spezialisierten und fast durchsichtigen Federlinge vertrieben werden oder gar durch Austrocknen und Überhitzung so weit inaktiviert werden, dass sie sich nach dem Sonnenbaden ausschütteln lassen.

³⁷ Lewis, P. D.; Gous, R. M.: Responses of poultry to ultraviolet radiation. Worlds Poultry Science Journal. 65, 3. 499-510. 2009: "UVA and UVB have antirachitic properties which catalyse the synthesis of vitamin D(3) from 7-dehydroxycholesterol in the Skin of feet and legs. /---/ UVC from the sun is filtered out by the atmosphere's ozone layer, so does not occur in sunlight, but artificially produced UVC has germicidal properties".

³⁸ Yair, R.; Shahar, R.; Uni, Z.: In ovo feeding with minerals and vitamin D-3 improves bone properties in hatchlings and mature broilers. Poultry Science. 94. 11. 2015. 2695-2707.

³⁹ Darren Naish: Sunbathing birds. Scientific American Blog Network. 01.08. 2011. 17: "This supports ideas that sunbathing is sometimes carried out for some function unrelated to the need to warm the body: maybe it helps dislodge parasites".

Federlinge könnten auch durch niedrige Temperaturen aktionsunfähig werden und dann aus dem Gefieder geschüttelt werden. Das legen zumindest Beobachtungen nahe, dass das Gefieder von nördlichen Arten bei der Pflege ebenfalls extrem gelüftet wird - bei ca. 12 ° C und starkem Wind - und anschließend ausgeschüttelt wird, wie etwa auf dem folgenden Photo von einer Skua.

Für diese Annahme spricht, dass sämtliche aus einem frishtoten Bergfinken geschüttelten Federlinge in einer Schachtel innerhalb eines Tages starben, obwohl in der Schachtel nur die Feuchtigkeit und die Temperatur geringer waren als im Federkleid des lebenden Vogels.



Federling eines Bergfinken. Mikroskop-Aufnahme. © Jonathan Gentz.



Skua spreizt alle Federn ab und kühlt die Luft im Gefieder auf ca. 12 ° C ab. © H. Schaller.

Verflüssigung des Bürzeldrüsen-Sekrets. Vielfach wird diskutiert, ob die hohen Temperaturen im Federkleid das ölige Sekret der Bürzeldrüse derartig verflüssigt, dass es sich auf der Oberfläche der Feder optimal verteilt.⁴⁰

Die Feldbeobachtungen lassen diese Annahme nicht absolut schlüssig erscheinen. Auch bei winterlichen Temperaturen unter 0°C oder knapp darüber ölen Wasserramseln ihre Gefieder ein, und zwar immerhin so gut, dass sie in eiskalten Gebirgsbächen bei der Unterwasser-Jagd nicht nass werden. Möwen und Skuas z. B. verteilen zu jeder Jahreszeit das Bürzeldrüsen-Sekret auf dem Gefieder. Wenn nur bei hohen Temperaturen die Federn optimal eingeölt werden würden und bei niedrigen weniger gut, dann wäre das für die Vögel besonders auf den winterkalten Gewässern gefährlich.

⁴⁰ British Trust for Ornithology. Mike Toms: Sunbathing Birds. "It both helps the preen oil to spread across the feathers and drives parasites out from within the plumage. Some of these parasites feed on the feathers themselves and all are highly specialised, with many only found on a single species of bird."



**Wasseramsel streift das Sekret der Bürzeldrüse aus den Pinselfedern, in denen sich das Sekret ansammelt. Wassertemperatur knapp über 0° C, Lufttemperatur ca. 5°C.
24.03.2016. © H. Schaller.**



Skuas pflegen synchron ihr Gefieder. Als erstes streifen sie das Sekret der Bürzeldrüse aus den Pinselhaaren. Runde/Norwegen. Umgebungstemperatur ca. 12°C. © H. Schaller.



Sturmmöwe streift Sekret der Bürzeldrüse aus den Pinselhaaren. 09.02.2013. © H. Schaller.

Diskussion: Da offensichtlich auch bei niedrigen bis sehr niedrigen Temperaturen das ölige Sekret der Bürzeldrüse gut auf dem Gefieder verteilt werden kann, ist es vermutlich nicht nötig, dass sich Vögel der prallen Sonne und Umgebungstemperaturen um 30° C aussetzen, um das Öl fließfähiger zu halten.

-----**Ende des Exkurses: Zweck des Sonnenbadens**-----



Eastern Bluebird längere Zeit beim Sonnenbad im milden Abendlicht. Kanada. © H. Schaller. Umgebungstemperatur ca. 17°C. UV-Licht dringt in tiefere Bereiche des aufgeplusterten Federkleids ein.



Zilpzalp im 1. Kj. beim Sonnenbaden. 13.08.2016. Tageshöchsttemperatur: 25 °C. © Rupert

i. Hecheln beim Sonnenbaden.

Wenn Vögel ein Sonnenbad nehmen, können sie Wärme aufnehmen. Wenn sie sich allerdings gerade bei hoher Umgebungstemperatur für ca. 6 min in die pralle Mittagssonne legen, müssen sie durch Hecheln und Verdunstungskälte einen gefährlichen Anstieg der Kerntemperatur verhindern. Da stellt sich die Frage, warum manche Arten dieses Verhalten auf sich nehmen und riskieren, dass sie zu viel Flüssigkeit verlieren.

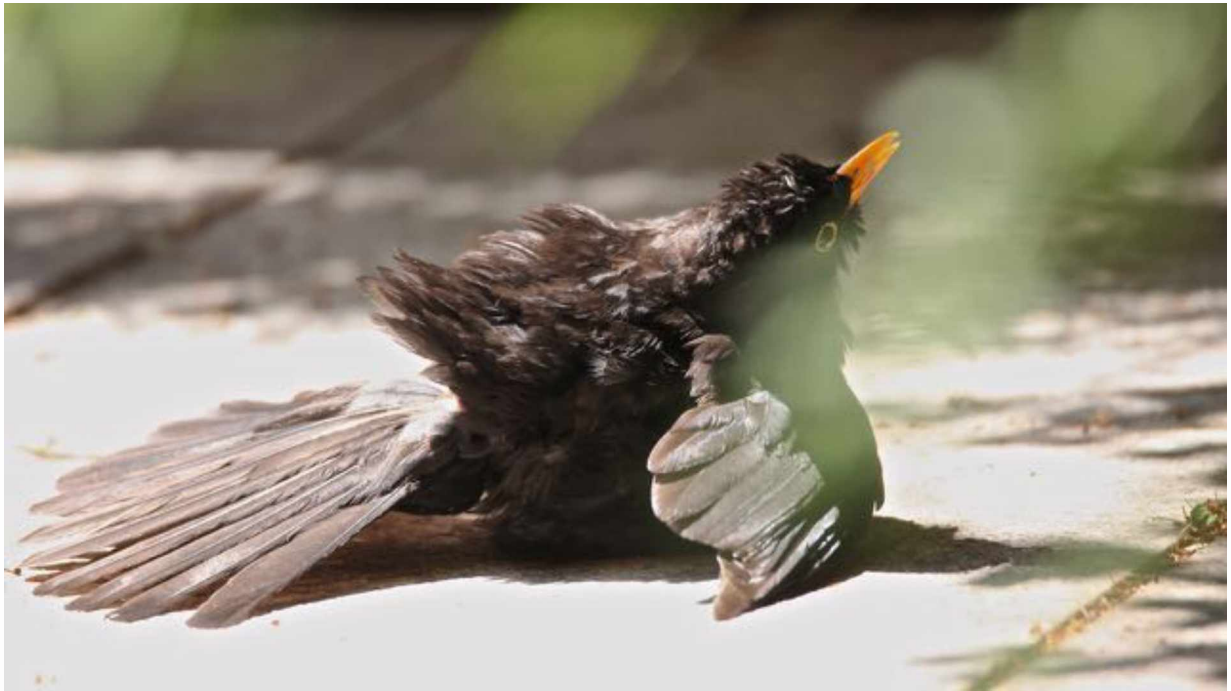
Setzen sich Vögel bei großer Hitze in die Sonne, dann muss zwangsläufig gleichzeitig Körperwärme abgeführt werden. Daher zeigen alle dokumentierten Vögel das Hecheln.



Hechelnde junge Blaumeise. 02.07.2015. Umgebungstemperatur über 25°C. ©Holger Lauf.
Extrem abgespreizte Konturfedern und geöffnete Flügel und Handschwingen lassen die UV-Strahlung bis auf die Haut eindringen. Gleichzeitig hecheln die Vögel.



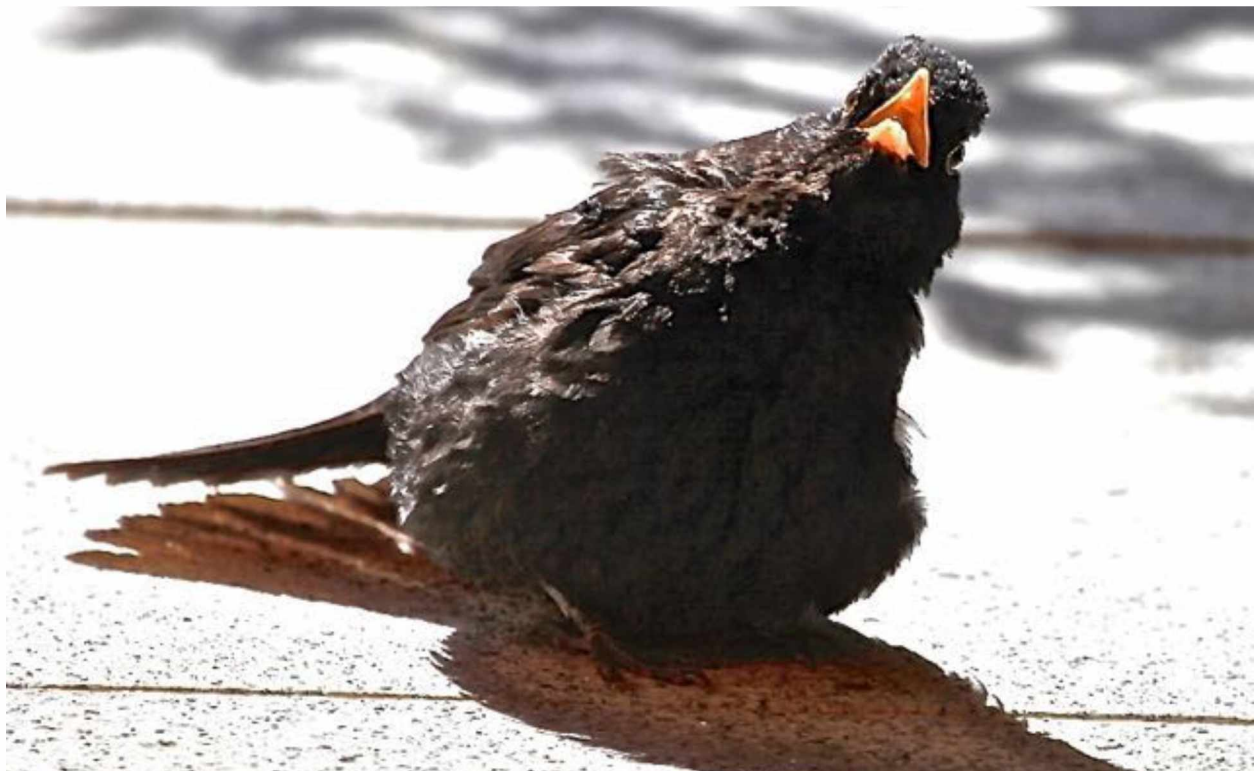
Junge Kohlmeise hechelt mit geöffnetem Schnabel und spreizt extrem auch Flügel- und Schwanzfedern. 17.07.2015. Umgebungstemperatur um 30°C. © Holger Lauf.



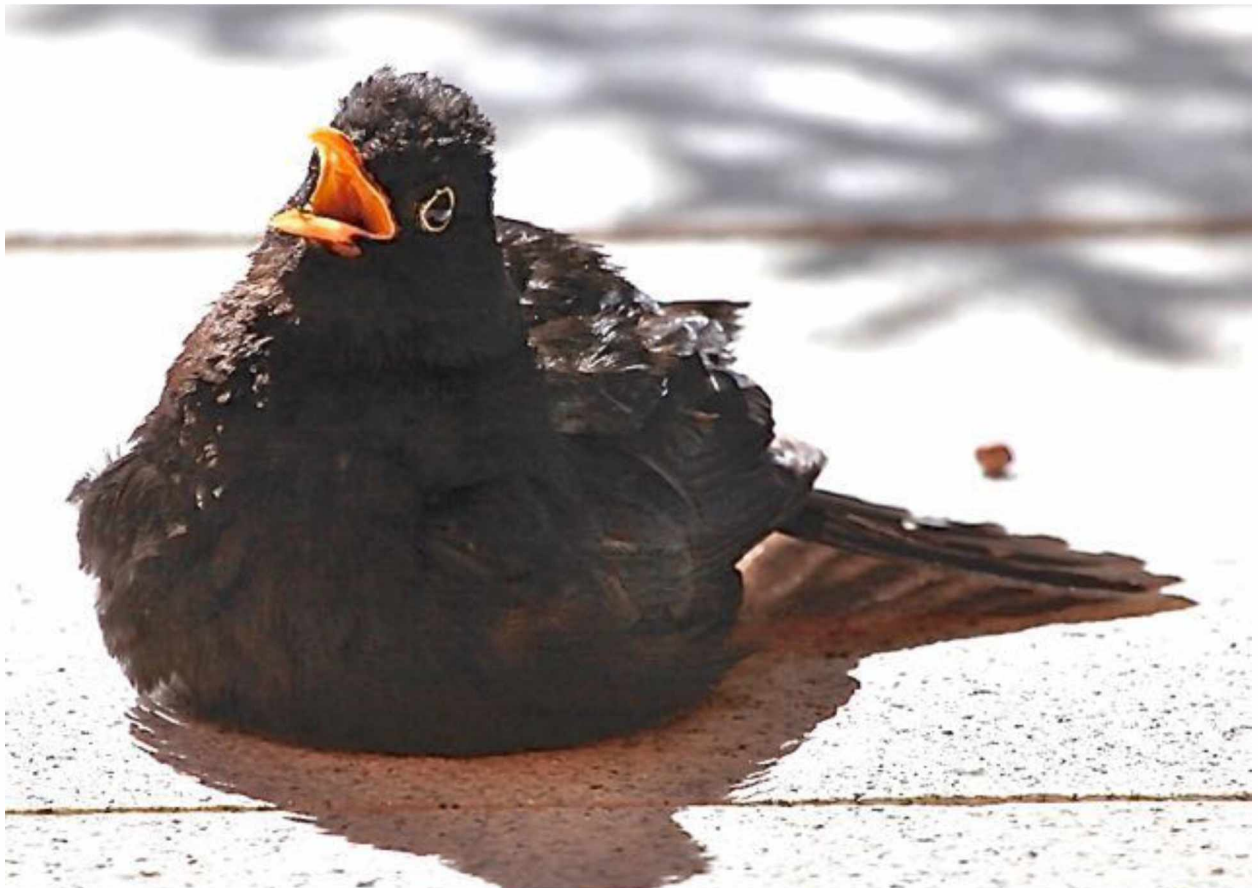
Amsel beim Sonnenbaden. 06.07.2015. © Holger Lauf.

Feldprotokoll (Holger Lauf): Datum: 06.07.2015. Zeit: 14.08 Uhr. Das Sonnenbaden dauerte ca. 6 Minuten mit häufigerem „Stellungswechsel“ bei über 25 Grad Außentemperatur. Sie hielt den Schnabel offen. Sozusagen unsere „Hausamsel“, die gerne oft bei uns auf der Terrasse ausgiebig sonnenbadet und wenig Scheu zeigt.

Gleiche Beobachtungen am 19.07.2010 von 16.02. h bis 16.08 h: Die folgenden Photos zeigen, dass der Amselhahn seine Haltung veränderte, um verschiedene Körperpartien der Sonne auszusetzen. Stets hechelte dabei die Amsel.



Oben und folgendes Photo: Amsel beim "Sonnenbaden".19.07.2010. © H. Lauf.



Sowohl beim Sonnenbaden als auch bei großer Hitze halten Vögel den Schnabel offen, um über die gut durchblutete und feuchte Schleimhaut im Rachen Wärme abzugeben. Dabei wird der Luftstrom schnell und „flach“ hin- und herbewegt (Wärmehyperpnoe: hyper gr.= über. pnoe, gr.= Atmung). Durch die Verdunstung entsteht Kälte. Beteiligt sind dabei auch die Innenwände einiger Luftsäcke.



Hechelnde Saatkrähe im Schatten. 07.07.2015. Würzburg. © H. Schwenkert.



Hechelnde Rabenkrähe. 05.07.2015. 18.18 h. Umgebungstemperatur immer noch nur knapp unter 30°C. © Holger Lauf.



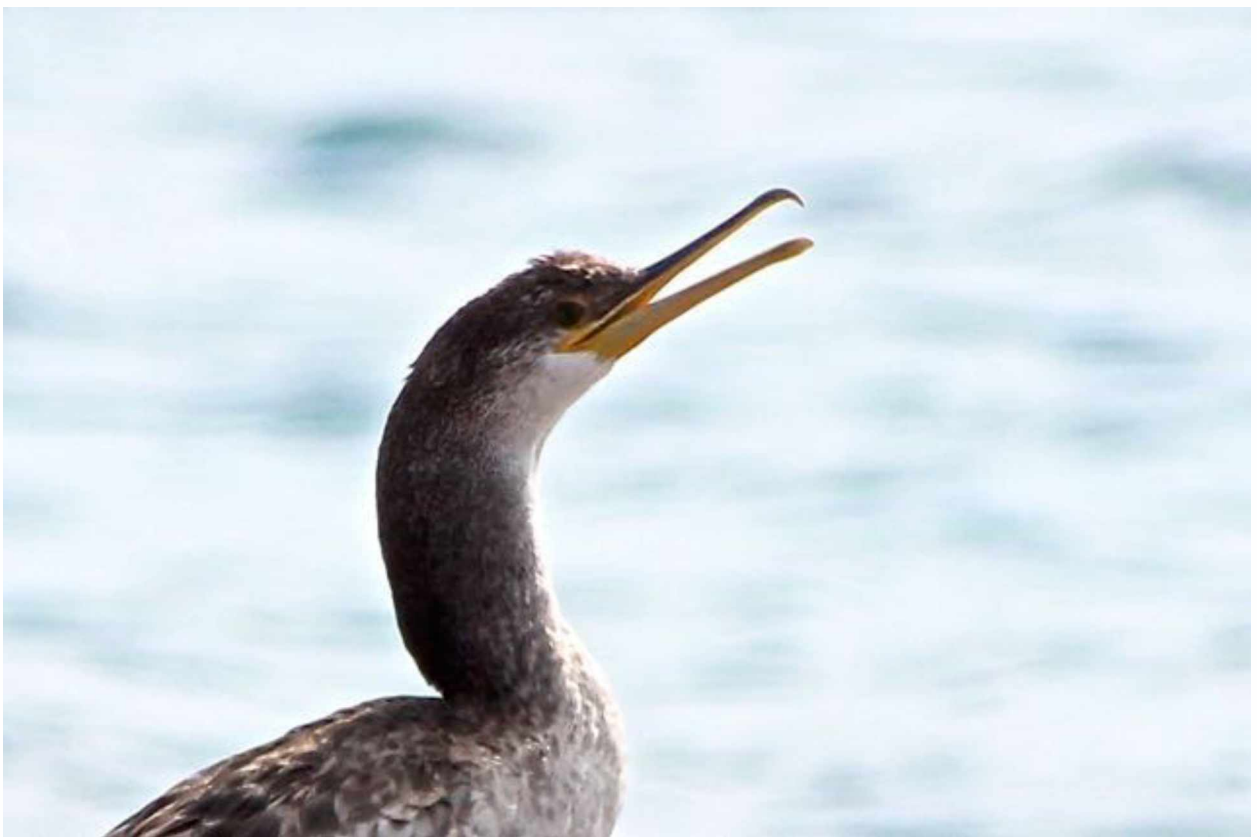
Hechelnder junger Grünspecht. 07.08.2015. © H. Schwenkert.



Hechelnder Eichelhäher. Korfu. 01.09.2015. Tagestemperatur um 30°C. © H. Schaller



Hechelnder Haussperling stellt sich gegen den kühlen Seewind. Rhodos. 02.10.2012. © H. Schaller.



Subadulte Krähenscharbe stellt sich gegen den Seewind und hechelt. Rhodos. 19.05.2011. Temperatur: ca. 25 °C. © H. Schaller. Das Kehlfattern war offensichtlich nicht nötig.

„Die Wärmehyperpnoe [Hitzehecheln] erfolgt mit erhöhter Atemfrequenz und erniedrigtem Atemzugsvolumen, was einen entsprechenden Anstieg des alveolären Anteils der Ventilation [Luftaustausch in den Lungenbläschen] verhindert.⁴¹ Bei Wasserverlust verringert sich das Blutvolumen und damit die Transportkapazität. Bei Dehydration [Austrocknung] kommt es so zu einem Anstieg der Kerntemperatur.⁴² Das mag sich ereignet haben bei den fast flüggen Schwarzstörchen im Stadtwald von Lohr, die während der großen Hitzeperiode 2015 tot im bzw. unter dem Horst gefunden wurden.⁴³

Vögel können ihre Körperkern-Temperatur nur innerhalb gewisser Grenzen konstant halten und zwar zwischen 41 und 42° C, die Säugetiere nur zwischen 36 bis 38 °C.⁴⁴

In den mediterranen Gebieten sind v. a. jene Arten einem Hitzestress ausgesetzt, die von einem offenen Ansitz aus jagen wie Grauschnäpper und Würger. Es dürfte kein Zufall sein, dass ein über ca. 10 min beobachteter Rotrückengewürger *Lanius senator* ssp. *badius* sich stets - auch nach einem Jagdflug - mit der schneeweißen Brust zur Sonne wandte und damit die maximale Reflexion des Sonnenlichts nutzte. Die Umgebungstemperatur betrug im Schatten um 9.30 h schon 30 °C. Circa eine Minute lang wurde das Hecheln beobachtet.



Hechelnder Rotkopfwürger *Lanius senator* ssp. *badius* im Hitzestress. Stets wandte er die weiße Brust der Sonne zu. Er drehte nur den Kopf, um einen kreisenden Habichtsadler im Auge zu behalten. Menorca. 02.09.2016. © H. Schaller.

⁴¹ H.E. Koralewski: Energiehaushalt und Temperaturregulation. Bioinformatik SS 2006. B4. S. 15.

⁴² Ebda S. 17.

⁴³ Siehe OAG Jahrbuch 2015. S. .:

Link: <http://www.naturgucker.de/13/files/Publikationen/Jahrbuch2015-kleinst.pdf>

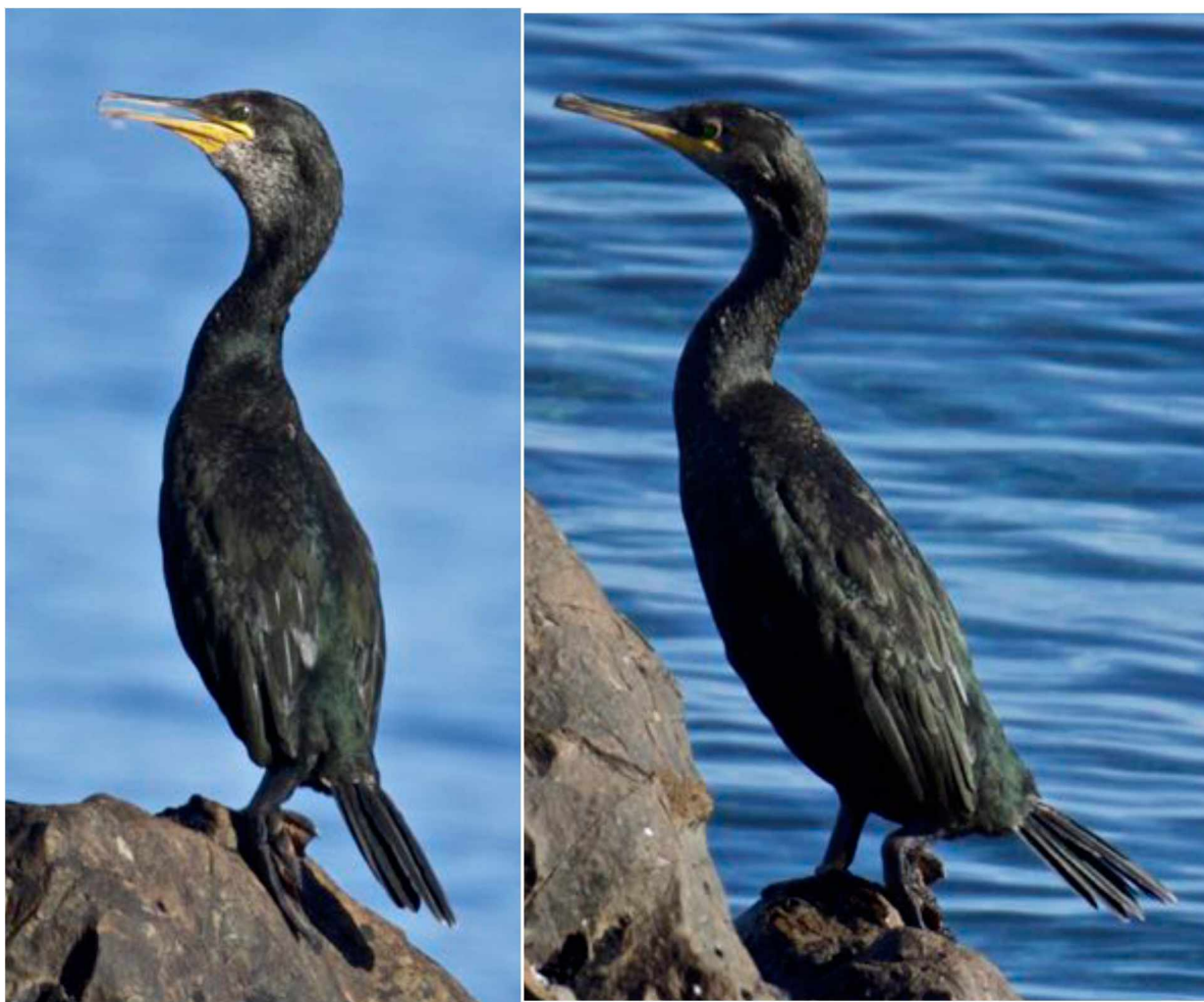
⁴⁴ Nach Koralewski. Ebda S.10.

j. Kehlfattern

Sperlingsvögel hecheln lediglich mit offenem Schnabel, bei den Entenvögeln, Tauben und Hühnervögeln bewegt sich der Kehlboden synchron dazu, bei Pelikanen und Kormoranen kann auch der Kehlsack flattern.⁴⁵

Temperaturregulierung bei Mastputen-Hybriden: Aus nächster Nähe lässt sich die Thermoregulierung durch das Hecheln zusammen mit dem Kehlfattern an Truthähnen in einer Geflügelzucht beobachten. Die Züchtung "Big 6" hat keine Dunen mehr, vielmehr stehen Konturfedern auch auf den Federrainen. Das hat den Vorteil, dass nicht nur zum Imponieren, sondern auch bei drohender Überhitzung die locker stehenden Deckfedern gespreizt werden und Luft an die blanke Haut kommt, so dass thermische Fenster in großer Zahl zur Verfügung stehen. Dennoch müssen die Puten auch in den offenen Ställen durch ein sorgfältiges und arbeitsaufwendiges Lüften vor Überhitzung geschützt werden. Andererseits kann sich diese Züchtung "Big 6" wegen der fehlenden Dunen nicht aktiv vor Unterkühlung schützen, wenn die Tag- oder Nachttemperatur auf 10°C absinkt. Dann muss der Stall entsprechend geschlossen werden, damit er nicht auskühlt.⁴⁶

Kehlfattern bei der Krähenscharbe *Phalacrocorax aristotelis ssp. desmarestii*:



Links: Hechelnde Mittelmeer-Krähenscharbe zeigt Kehlfattern. Rechts: Der selbe Vogel ohne Kehlfattern. Menorca. Umgebungstemperatur ca. 29°C. © H. Schaller.

⁴⁵ Nach E. Bezzel: Ornithologie. UTB 681. 1977. S. 102.

⁴⁶ Die tierfreundliche Haltung und die passive und aktive Thermoregulierung der Mastputen Big 6 konnte in "Elviras Bauernladen" in Eußenheim-Aschheim beobachtet werden. Dafür sei der Familie Dallmann herzlich gedankt.

Das Kehlflattern wird durch das Vibrieren des Halsmuskels *Musculus sternohyoideus* bewirkt. Dieser setzt oben am Zungenbein (*Os hyoideum*) an und unten am Brustbein (*Sternum*). Das Zungenbein ist nur mit Muskeln und Bändern aufgehängt und daher sehr beweglich. Wenn der *Musculus sternohyoideus* entsprechend ernerviert wird, flattert nicht nur die unbefiederte gelbe, sondern auch die helle, dünn befiederte Kehlhaut. Unter großem Hitzestress beträgt der Ausschlag der Kehlhaut bis zu 15 cm.⁴⁷

Wenn bei der Herstellung von Skelettpräparaten der Kadaver mazeriert wird, geht das Zungenbein verloren, weil es einen hohen Bindegewebsanteil hat und nur zwischen Muskeln und Bändern aufgehängt ist.. Das mag der Grund sein, warum das Zungenbein samt seinen Muskeln oft gar nicht erwähnt wird; z. B. nicht von K. Herzog⁴⁸: Auch das Handbuch der Biologie informiert nicht über den Ansatz der infra- und suprahyoidalen Muskulatur.

⁴⁷ Bartholomew G. A. and. Lasiewski R. C., Crawford E. C. Jr. : Patterns of Panting and Gular Flutter in Cormorants, Pelicans, Owls and Doves.

Gular flutter in cormorants is driven by the hyoid, which is relatively larger than in pelicans. During flutter the gular region is lowered and the hyoid is flared laterally. Under severe heat stress the area fluttered extends at least 15 cm down the ventral and lateral surfaces of the neck, and includes feathered as well as unfeathered skin. Department of Zoology.

⁴⁸ K. Herzog: Anatomie und Flugbiologie der Vögel. Jena, 1968.

k. Soziale Wärmeregulierung

Vor allem nackte und dürrftig befiederte Jungvögel können ihre Körpertemperatur bei tiefen Temperaturen nur halten, wenn sie sich im Nest zusammenkuscheln und von den Altvögeln im Nest und noch als Läuflinge gehudert werden. Vor allem wenn die Vegetation nass ist und den Jungvogel durchnässt, kann im Norden der Nachwuchs nur überleben, wenn er vom Altvogel gehudert wird.



Sandregenpfeifer. Altvogel hudert Küken. © Günther Schaller.



Kiebitz-Pullus wächst in Feuchtgebieten auf. 14.05.2014. © G. Zieger.



Kiebitz-Männchen hudert Junges. 05.05.2014. © G. Zieger. Beide Elternvögel hudern.

Bei den Tauchern wie Haubentauchern und Ohrentauchern klettern die Jungen auf den Rücken des Altvogels und verschwinden dabei meist völlig unter den Flügeln.



Ohrentaucher-Familie. Das kleinste Junge unter den Flügeln des Männchens steckt den Kopf meist nur heraus, wenn das Weibchen Futter anbietet, hier einen Molch. 15.07.2016. Schweden. © H. Schaller.

Das unzureichend isolierende Federkleid der Tauben-Nestlinge macht es einerseits nötig, dass die Altvögel bei kaltem, nassem Wetter hudern, andererseits sind die Temperaturen im Juni/Juli tagsüber oft so hoch, dass die Nestlinge Schatten brauchen und Wärme abgeben müssen. Das ist durch das dürftige Federkleid leichter möglich.



Zwei Nestlinge der Türkentaube. 09.07.2012. Photo: H. Schaller.

Auch wenn eine Überhitzung der Jungen droht, greifen die Altvögel ein, indem bei manchen Arten wie bei Störchen Wasser zum Horst gebracht wird und die Jungvögel beschattet werden.

I. "Die Wärmekugel"

Vor allem kleine Singvögel und Jungvögel, die ihre Körpertemperatur noch nicht ganz allein regulieren können, kuscheln sich bei tiefen Temperaturen eng zusammen und bilden eine Art Wärmekugel. Wintergoldhähnchen bilden zur Zugzeit oder bei Frost auch "Schlafkugeln"⁴⁹ Es konnte beobachtet werden, dass sich Schwanzmeisen-Ästlinge bei Tagestemperaturen um 12 °C zu einer Wärmekugel zusammenkuschelten.

Feldprotokoll: Ort Murnauer Moos. Zeit: 16.05.2016. Temperatur: ca. 12°C. Sechs Jungvögel, Ästlinge; bilden eine Wärmekugel. Die Schnäbel schauen nach zwei verschiedenen Seiten. Die Altvögel füttern auch von allen Seiten, so dass die Jungen ihre Position innerhalb der Kugel nicht aufgeben müssen, anders als im Nest, wo nur von oben gefüttert wird und die Jungvögel rotieren müssen. Die Jungvögel piepsen nahezu ununterbrochen. Die Wärmekugel wird nach ca. 15 min nahezu schlagartig aufgelöst. Zunächst verlässt nur ein Jungvogel die Position in der Kugel, dann löst sich der Verband schlagartig auf und die Jungvögel vereinzeln sich in den Gebüsch, vermutlich um die Gefahr einer Prädation zu verringern. Das konzentrierte Betteln innerhalb der Wärmekugel war nicht zu überhören und leicht zu orten.



Wärmekugel von sechs Schwanzmeisen-Ästlingen. Gefüttert wird von allen Seiten. © H. Schaller.

⁴⁹ Einhard Bezzel: Kompendium der Vögel Mitteleuropas. Aula. Wiesbaden. 1993. S. 400.



Fütterung von oben. Innerhalb der Wärmekugel wurde nicht rotiert. © H. Schaller.



**Der erste Jungvogel hat die Wärmekugel verlassen. Die letzte Fütterung bei der Kugel.
Dann löste sich der Verband schlagartig auf. © H. Schaller.**

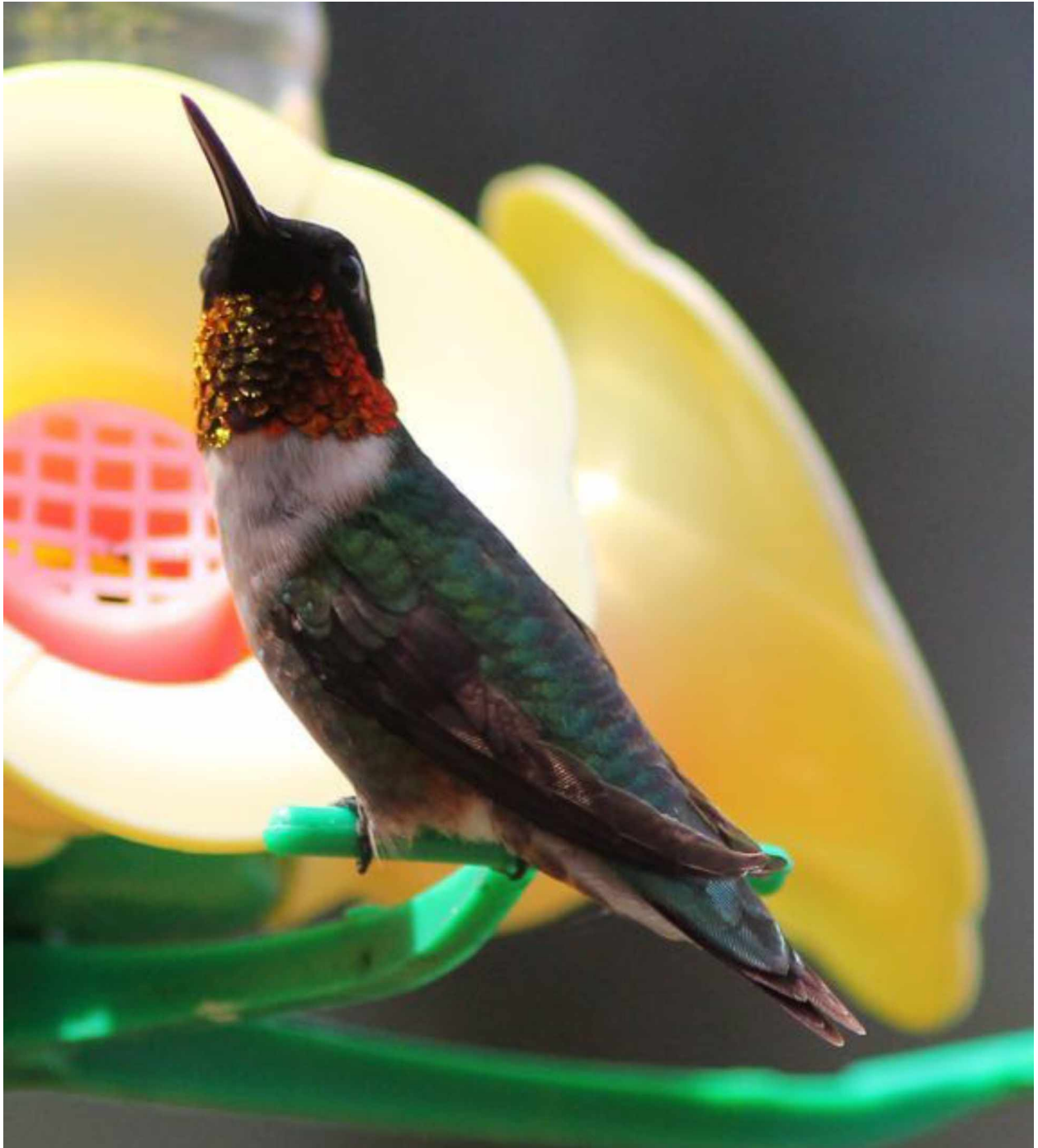
m. Hunger- und Kältestarre

Ein Kolibri, der in Regionen mit langen, kalten Nächten lebt, fällt als gleichwarmes (homiothermes) Tier nachts in einen Kälteschlaf (Torpor) und senkt dadurch die hohe Stoffwechselrate (Nach: Wikipedia: Thermoregulation).



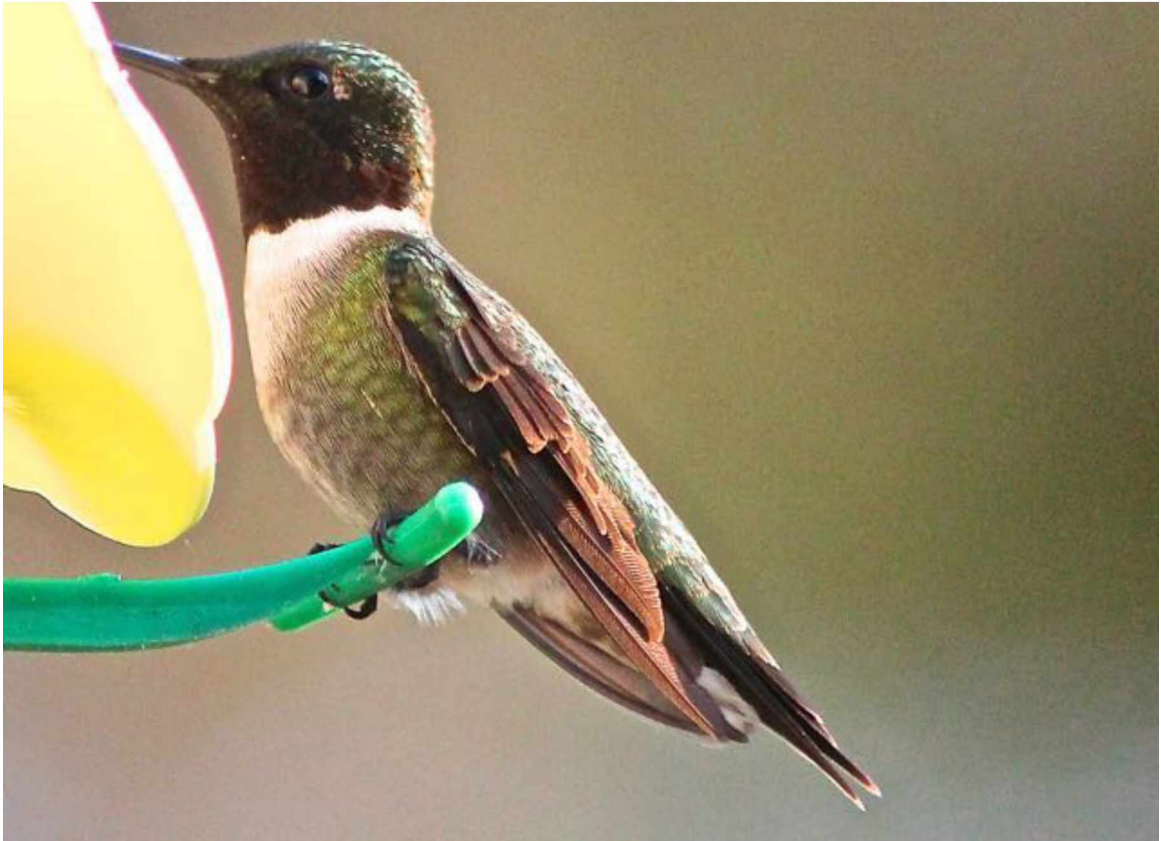
**Rubinkehlkolibri. Oben: Männchen, unten: Weibchen. 06.06.2013. Kanada. ©H. Schaller.
Im Flug zeigte dieses Männchen nicht den schillernden Kehlfleck.**

Ihre Körpertemperatur sinkt dabei von normalerweise 38–40 °C auf 18–20 °C, die Stoffwechselrate wird dabei für nur wenige Stunden um bis zu 90 % herabgesetzt .(Nach Wikipedia: Thermoregulation). Tagsüber verfügen männliche Rubinkehl-Kolibris über die Möglichkeit, die Wärmeaufnahme je nach Bedarf zu steuern, indem sie v. a. beim Flug die schillernden Kehlflecke zudecken, im Sitzen eher aufdecken, indem sie sich vor dem Weibchen "in die Brust werfen" oder den Hals strecken.. "Die schillernden Kehlflecke der Kolibris absorbieren [---] gerade in diesem [infraroten] Bereich sehr stark"⁵⁰

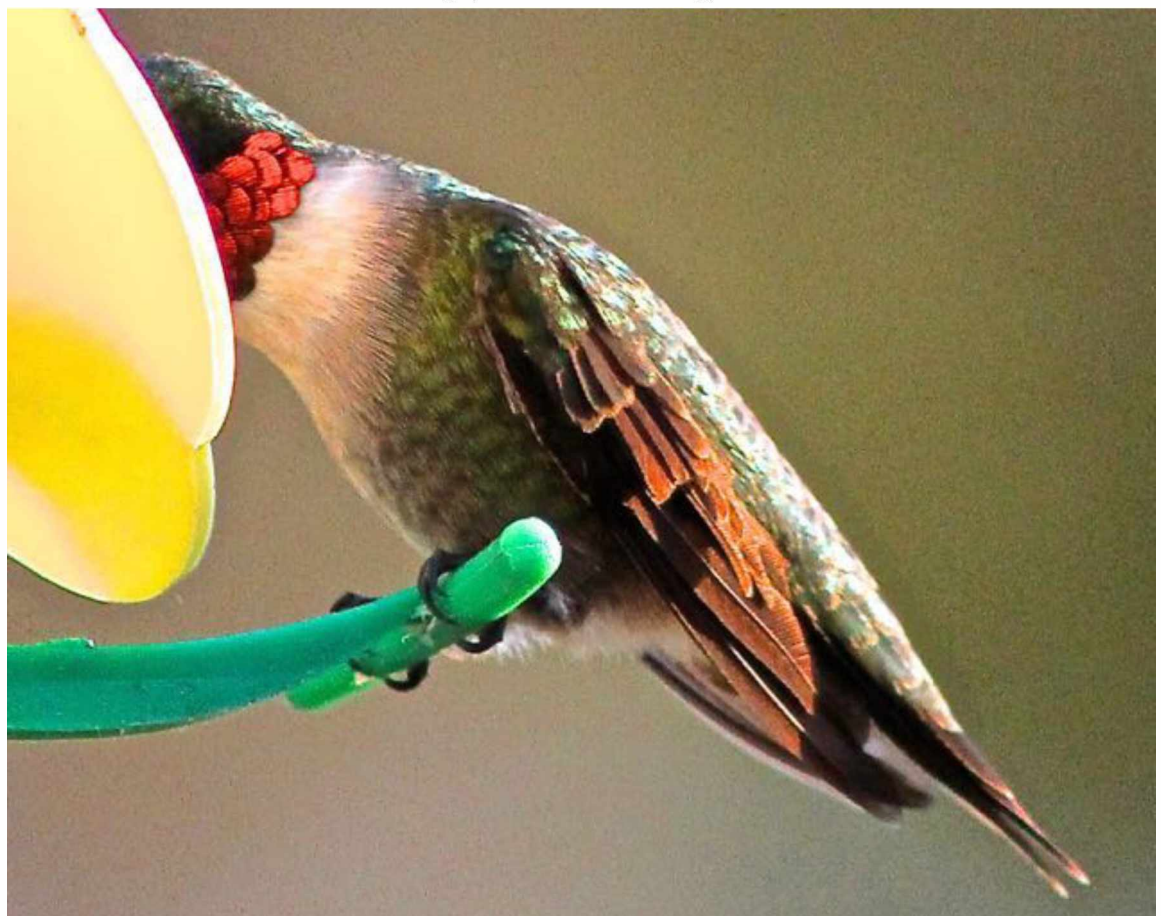


Rubinkehl-Kolibri ♂. Ruby-throated Hummingbird. Nova Scotia, Kanada. 06.06.2013. © H. Schaller. Im Sitzen zeigt er den schillernden Kehlfleck im Rahmen der Balz und gleichzeitig zur Wärmeaufnahme.

⁵⁰ Einhard Bezzel: Ornithologie. Ulmer. UTB 681. 1977. S. 101.



Rubinkehl-Kolibri deckt den schillernden Kehlfleck zu (oben) und deckt ihn Sekunden später auf (unten). Damit "öffnet bzw. schließt" er ein thermisches Fenster für die Infrarot-Strahlung (Wärmestrahlung). © H. Schaller.



„Da Vögel keinen Winterschlaf halten, trifft man die Fähigkeit, in torpide Zustände [Erstarrung] zu verfallen, bei ihnen recht häufig an, doch ist diese Möglichkeit auf kleinere Arten beschränkt, da das Aufwachen relativ viel Energie verbraucht. Für größere und schwerere Arten ergäbe sich dadurch ein ungünstiges Verhältnis zwischen Energieersparnis und Energieverbrauch in der Aufwachphase. In den Vogelfamilien der Segler (Apodidae), Schwalben (Hirundinidae) sowie der Ziegenmelker (Caprimulgidae) finden sich einige Vertreter, die den Zustand der Hungerstarre als Energiesparmaßnahme nutzen“⁵¹.

"Mehlschwalben geraten auch bei tiefen Außentemperaturen von minus 5 Grad und tiefer niemals in eine Kältestarre (Torpor), solange sie gut ernährt sind. Ihr Normalgewicht beträgt 19 bis 20 Gramm. Sinkt ihr Körpergewicht jedoch auf etwa 15 Gramm, tritt auch bei hohen nächtlichen Außentemperaturen Torpor ein. Die Intensität der Starre (Torpidität) und damit das Absinken der nächtlichen Körpertemperatur hängt vom Ernährungszustand ab." (Wikipedia: Thermoregulation).

n. Die Regulierung der Körperwärme über die Beine

Schon 1964 untersuchten Inger Steen und J.B. Steen, wie ein Graureiher und eine Möwe ihre Körperwärme regulieren, wenn die Beine unterschiedlichen Luft- und Wassertemperaturen ausgesetzt werden: „Untersucht wurde bei Reiher und Möwen jener Anteil der gesamten Wärmeproduktion, der ins kalte Wasser oder die Luft abgeführt wird. Die Umgebungstemperatur reichte von -10°C bis 35°C. Bei niedriger Umgebungsluft wird weniger als 10% der Stoffwechselwärme über die Beine verloren. Bei höherer Umgebungstemperatur wird ein ansteigender Anteil der Stoffwechselwärme über die Beine verloren und bei 35°C wird fast die gesamte Wärmeproduktion durch die Beine abgeleitet. Der Verlust der Wärme ans Wasser erwies sich als ungefähr viermal höher als der Wärmeverlust an die Luft - bei der selben Temperatur. Der Grad des Wärmeverlustes über die Beine änderte sich innerhalb von Sekunden, wenn die Beine mit kaltem Wasser besprüht wurden. Daraus ist zu folgern, dass die unbefiederten Beine von diesen Vögeln der kontrollierten Wärmeleitung dienen und von großer Bedeutung für die Thermoregulation sind.“⁵²

Wenn Vögel mit langen Beinen ruhen und die Muskulatur wenig Stoffwechselwärme erzeugt, kann der Vogel den Verlust an Körperwärme verringern, indem er ein Bein vollständig ins Gefieder zurückzieht. Wie auch das folgende Photo zeigt, richten sich zusätzlich besonders Seevögel mit dem Kopf bzw. der Brust gegen den Wind aus, damit sie die Wärmeabgabe verringern.

"So wurde u.a. bei einigen Arten ein Anstieg des Stoffumsatzes bei konstanter Temperatur mit zunehmender Windgeschwindigkeit nachgewiesen. Das Ausrichten vieler See- und Küstenvögel mit dem Kopf gegen den Wind mag ein adaptives Verhalten zur Reduktion der Konvektion sein“⁵³

⁵¹ <https://de.wikipedia.org/wiki/Thermoregulation>.

⁵² Inger Steen, J.B. Steen: The Importance of the Legs in the Thermoregulation of Birds. Acta physiol. scand. Universität Oslo. 1965. 63. S. 285-291. Übers. der Zusammenfassung aus dem Englischen: H. Schaller.

⁵³ Einhard Bezzel: Ornithologie. Ulmer. UTB 681. 1977. S. 101.



**Ruhende Löffler (oben) und Seidenreiher (unten) stecken ein Bein unter die Flügel. Umgebungstemperatur ca. 18 °C. Windstärke ca. 6. Fuerteventura. 14.02.2016. © H. Schaller.
Sie richten sich gegen den Wind aus und nutzen den Windschutz.**



o. Das Gegenstromprinzip

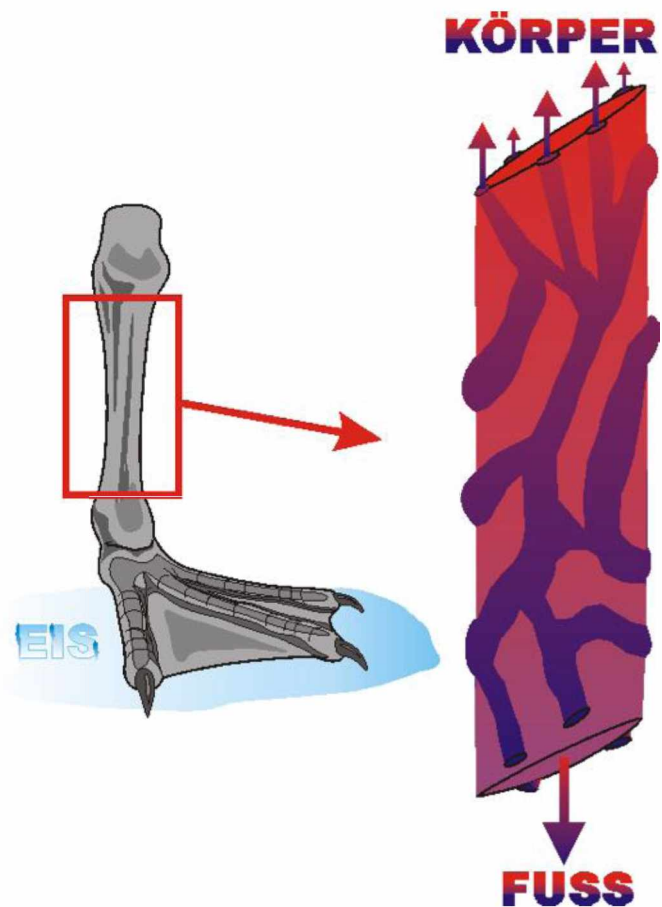
Bei ca. 40 Jahren winterlicher Wasservogelzählung wurde nur einmal vermutet, dass ein Höckerschwan auf dem Eis festgefroren war, weil er auch auf Klatschen und Rufe nicht reagierte. Als sich dann die zu Hilfe gerufene Feuerwehr mit großem Aufwand und Spezialausrüstung durch das Eis gekämpft hatte und der erste Schwall Wasser den Schwan erreichte, stand dieser auf und watschelte auf dem Eis davon. Unklar war also, ob er wirklich festgefroren war.⁵⁴

Warum die Vögel normalerweise nicht auf dem Eis festfrieren, ermöglicht ein Adergeflecht von venösem und arteriellem Blut im oberen Bereich der Beine. Das arterielle Blut hat die Kerntemperatur von ca. 40 °C und gibt diese Wärme an das kalte venöse Blut ab, das von den Füßen kommt; und zwar deshalb, weil die Arterien und Venen dicht nebeneinander liegen. Dieses **Gegenstromprinzip** ermöglicht einen nahezu vollständigen Austausch der Wärme. Das hat zur Folge, dass das Blut in den Füßen die Umgebungstemperatur bekommt und andererseits das abgekühlte venöse Blut nicht in den Körperkern gelangt. So bleibt die Wärme im Körperkern erhalten. Und schließlich tauen die 0 °C-kalten Füße nicht das Eis auf und frieren nicht an, auch wenn der Vogel längere Zeit ruhig auf dem Eis sitzt.

„Für den Rücktransport des Blutes ins Innere des Körpers stehen zwei Wege zur Verfügung. Der erste Weg führt über die an der Oberfläche liegenden Hautvenen, der zweite über die tief neben den Arterien liegenden Venen. In kalter Umgebung fließt nur sehr wenig Blut durch die oberflächlichen Gefäße; das geringe Volumen genügt aber, um Stoffwechselprozesse zu ermöglichen“⁵⁵.

In der Grafik sieht man die vom Körper kommende Arterie mit dem zunächst warmem Blut [rot], das sich zusehends abkühlt und bläulich wird. Das zunächst kalte Blut [blau] in den Venen wird bei seinem Weg ins Körperinnere erwärmt. In der Graphik ändert es seine Farbe von Blau zu Rötlich. [---]. Dieser Austausch von Wärme ermöglicht den Vögeln beispielsweise, auf dem Eis zu stehen ohne einzuschmelzen und dabei die Kerntemperatur zu erhalten.

Umgekehrt nimmt bei hoher Umgebungstemperatur das warme Kernblut ebenfalls den Weg über die oberflächlichen Hautvenen und gibt dort überschüssige Wärme ab.⁵⁶



⁵⁴ Beobachter: D. Uhlich, A. Wöber, H. und H. Schaller. Die Feuerwehr stellte keine Rechnung!

⁵⁵ <https://de.wikipedia.org/wiki/Thermoregulation>.

⁵⁶ Nach: <https://de.wikipedia.org/wiki/Thermoregulation>.



Zwergsäger ♀ und Schellente ♂ froren nicht an. Ückermünde/Vorpommern. 11.02.2012. © G. Zieger.

Feldprotokoll: Die Tagestemperatur betrug -18 °C. Sehr windig. Das Haff war komplett zugefroren, nur eine kleine Fläche der Ücker war noch eisfrei (G. Zieger).



Nebelkrähe, Seeadler und Elster auf dem Eis. 12.02.2012. Mecklenburg/Vorpommern. - 15,1 °C. © G. Zieger.

Es fällt auf, dass die Vögel jene Partien der Beine, in denen der Wärmeaustausch stattfindet, ins Gefieder versenken und daher unerwartet kurzbeinig wirken.

p. Die Funktion der "Hosen"

Die „Hosen“ bedecken bei an Kälte angepasste Arten wie bei den Raufußhühnern, Kranichen, Seeadler und Raufußbussard jene Beinpartien. Somit wird offensichtlich verhindert, dass das in den Körperkern zurückströmende venöse Blut zu stark abgekühlt wird.



Kranich auf dem Wegzug. Kraniche brüten noch weit nördlich des Polarkreises. Dichte Hosen. Schweden. © H. Schaller.

Es drängt sich die Frage auf, ob Hosen, die das Venennetz im Wärmetauscher wärmen, im afrikanischen Winterquartier verhindern, dass Körperwärme abgegeben wird. Das allerdings ist dringend erforderlich. Tatsächlich zeigten in einem großen Trupp von ziehenden Alpenstrandläufern die Vögel an den Hosen unterschiedlich weit fortgeschrittene Mauser. Es könnte also sein, dass sie auf dem Wegzug die Hosen verlieren und erst zum Heimzug in die subpolaren Brutgebiete wieder bekommen. Es fällt auf, dass in vielen Bestimmungsbüchern die Alpenstrandläufer ohne Hosen gemalt sind.⁵⁷ Lediglich das Bestimmungsbuch von L. Svensson e. a.⁵⁸ zeigt den Alpenstrandläufer mit sehr kurzen Hosen.

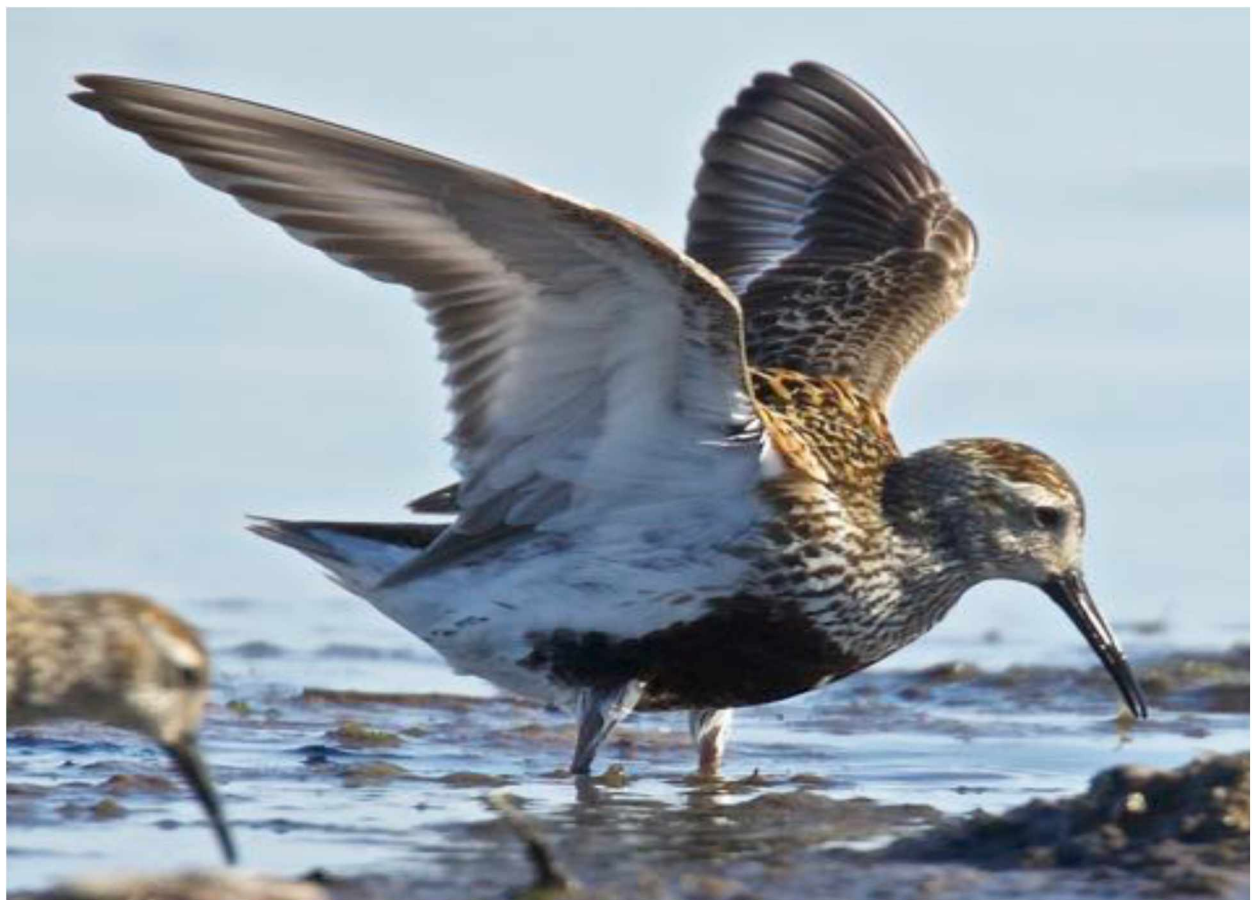
⁵⁷ Z.B.: M. Beaman, St. Madge: Handbuch der Vogelbestimmung. 1998. S. 367.

P. Hayman, Rob Hume: Vögel. 2009. S. 212.

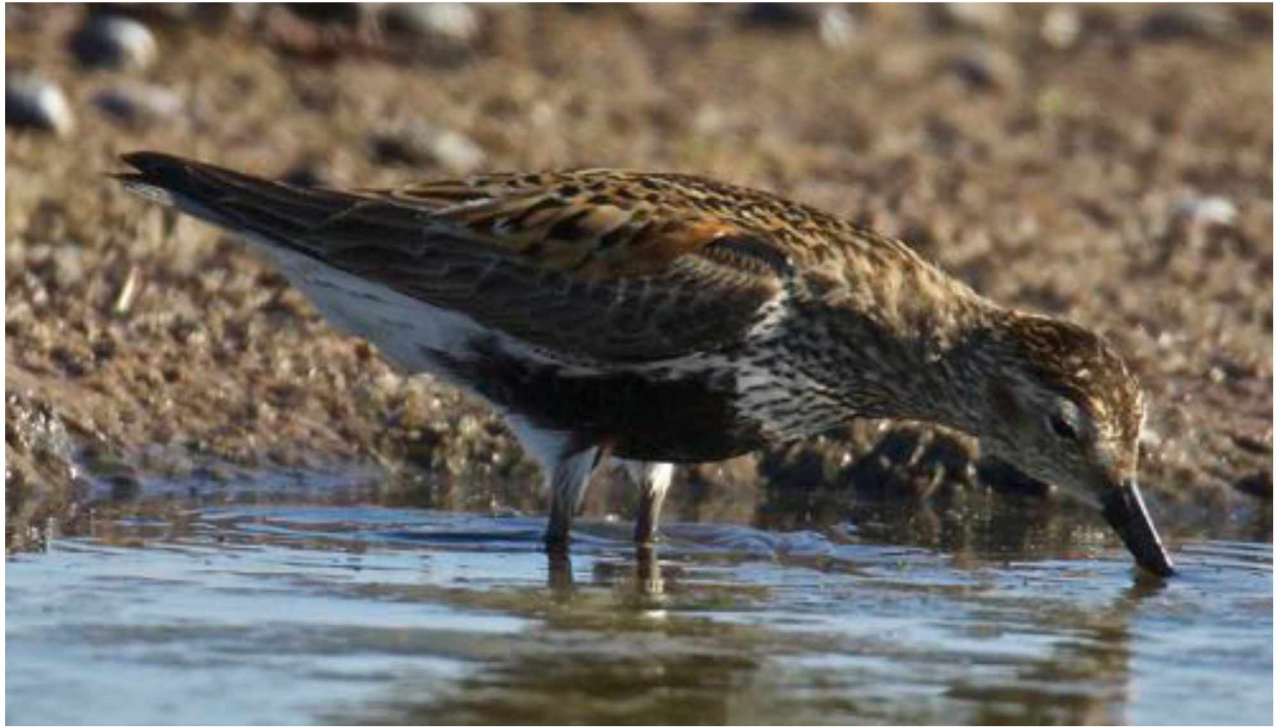
⁵⁸ L. Svensson, K. Mullarney, D. Zetterström: Der Kosmos Vogelführer. 2009. S. 151.



Alpenstrandläufer mit letzten Resten von Hosen. Gotland. 09.07.2016. © H. Schaller.



Alpenstrandläufer mit ausgelichteten Hosen. Gotland. © H. Schaller.



Oben und unten: Alpenstrandläufer mit und ohne Hosen. Gotland. 09.07.2016. © H. Schaller



q. Abkühlung im Flug

Das Gegenstromprinzip könnte auch im Flug zur Abkühlung benutzt werden. Bei großer Hitze nehmen mehrere Arten während des Flugs die Füße aus dem Gefieder. Das kann allerdings auch aerodynamische Gründe haben. Es bleibt bei der Feldbeobachtung letztlich eine Vermutung, ob dabei das Gegenstromprinzip aktiviert wird, um die problematisch angestiegene Kerntemperatur über die Füße abzusenken.



Schlangenadler im Suchflug streckt die Füße weit aus.
31.08.2012. Rhodos.
© H. Schaller.
Tagestemperatur:
ca. 30 °C.

Während der großen Hitzeperiode im Sommer 2015 wurden Mauersegler photographiert, die beide Füße hängen ließen - offensichtlich um Wärme abzugeben⁵⁹

Ein Fischadler konnte dabei beobachtet werden, dass er seine Beine durch das Wasser schleifte. Vorher hatte er einen Fisch zum Horst getragen. Bei diesem "Fußbad" reinigte er seine Fänge vom Fischschleim und kühlte über das Venen-Netz seine Kerntemperatur herunter. Mittelschweden. Lufttemperatur ca. 22°C.



Fischadler ♂ schleift die Fänge durch das Wasser. Schweden. © H. Schaller.

⁵⁹ Christian Neumann: Zeigt her eure Füße. Thermoregulation beim Mauersegler. Der Falke. 62, 2015.

Eine Wärmeabgabe während des Flugs bei hohen Umgebungstemperaturen über die Beine wurde schon 1975 bei acht Arten vermutet.⁶⁰ Wie das folgende Beispiel zeigt, spielt auch eine Rolle, auf welche Durchschnittstemperatur die Wärmeisolierung durch das Gefieder eingestellt ist.



Diesjährige Baltische Heringsmöwe streckt ein Bein aus dem Gefieder, vermutlich um Körperwärme abzugeben oder die Fluglage zu stabilisieren. Schweden, Gotland. 13.07.2014. Sonnig, windig, Lufttemperatur deutlich über 20 °C. ©H. Schaller.

Natürlich lassen v. a. große Vögel auch aus anderen Gründen manchmal die Füße hängen, vor dem Beutezugriff im Suchflug oder bei der Futterübergabe. In einer älteren Untersuchung werden die hängenden Beine eines Gänsegeiers mit aerodynamischen Gründen erklärt: Der Schwerpunkt wird nach unten verlegt und die Fluglage stabilisiert.⁶¹

⁶⁰ P. G. H. Frost und W. R. Siegfried: Use of Legs as Dissipators of Heat in Flying Passerines. Zool. Afr.10, 1975. S. 1001-102.

⁶¹ Karl Herzog: Anatomie und Flugbiologie der Vögel. Jena, 1968. S.113.

r. Temperaturregulierung über die Schwimmfüße

Die Kerntemperatur kann über die Schwimmfüße auch abgesenkt werden. Die auch im hohen Norden brütenden Basstölpel, Kormorane und Scharben haben keinen Brutfleck, sondern bebrüten die Eier mit ihren Füßen, die deshalb zu diesem Zweck stark durchblutet sein müssen.⁶² Die Eier werden dabei auf die Schwimmfüße gelegt. Auch wenn in heißen Klimazonen die schwarzen Vögel beim Ausruhen von der Sonne zu stark aufgeheizt werden, setzen sich diese Arten gerne in den Spritzwasser-Bereich des Wellenschlags und lassen die zu diesem Zweck stark durchbluteten Schwimmhäute zusätzlich vom Wasser kühlen.



Subadulte Krähenscharbe. Rhodos. 19.05.2011. Umgebungstemperatur ca. 25 °C. ©H. Schaller.

Normalerweise sind die Schwimmhäute bei Kormoranen schwärzlich, aber wenn sie zur Kühlung eingesetzt werden, sind v. a. bei den Scharben die Adern deutlich zu sehen und die Schwimmhäute gut durchblutet. Zum Abkühlen werden bei Hitze die peripheren Blutgefäße erweitert und mehr Blut aus dem Körperkern wird an die Körperschale transportiert.

⁶² Siehe dazu auch OAG Jahrbuch 2014. S. 135. Link:
: http://www.naturgucker.de/files/Publikationen/Jahrbuch2014OAGUfr_2.pdf



**Ruhende Krähenscharbe *Ph. a. desmarestii* 2. KJ. Tagestemperatur ca. 30 °C. Mallorca.
©H. Schaller. Auch hier sind die Schwimmhäute stark durchblutet - der roten Farbe nach
zu schließen.**

Die Wärmeabgabe kann über den „Wärmetauscher“ der Beine und Füße dosiert werden, indem alle beide Beine dem Spritzwasser ausgesetzt werden oder nur eines. So konnte beobachtet werden, dass eine Mittelmeerscharbe innerhalb von ca. 10 min. sechsmal ein Bein ins Gefieder steckte und die Zehen einrollte. Dadurch wurden die Schwimmhäute nicht mehr dem Wind und dem Spritzwasser ausgesetzt.



Mittelmeerscharbe. 07.08.2013. Mallorca. Umgebungstemperatur über 30 °C. © H. Schaller.



**Adulte Krähenscharbe mit roten Schwimmhäuten, die vom Spritzwasser benetzt werden.
Mallorca. 07.09.2013. Umgebungstemperatur ca. 30 °C. © H. Schaller.**



Oben: Die gut durchbluteten Schwimmhäute der obigen Krähscharbe.
©H. Schaller.

Unten: Die dunklen Schwimmhäute eines Kormorans bei kühlen Temperaturen.

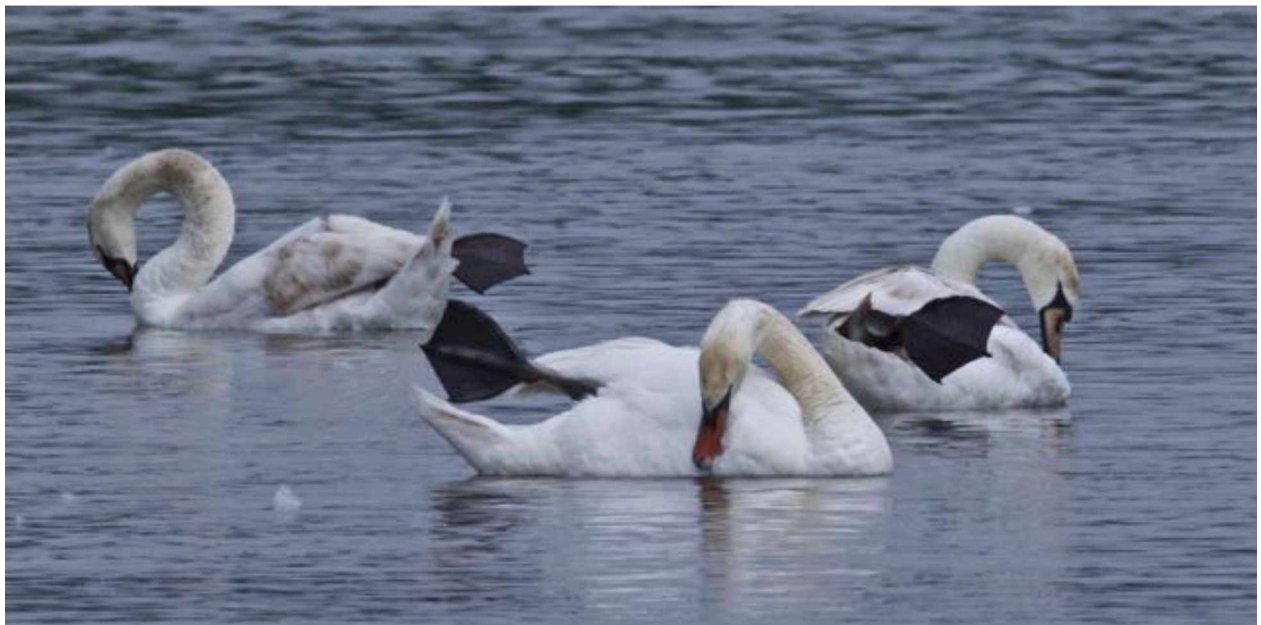


Kormoran im Brutkleid. Würzburg. 07.02.2016. © M. Gläbel.

Das Gefieder des Kormorans wird nicht eingeölt und daher bei der Jagd durchnässt. Es muss danach getrocknet werden, damit der Körper nicht auskühlt.

Bei Höckerschwänen wird öfter beobachtet, dass sie einen Fuß aus dem Wasser halten. Man nimmt an, dass sie damit bei tiefen Temperaturen den Wärmeverlust über die Füße vermeiden wollen. Dem widerspricht allerdings folgende Beobachtung.

Feldprotokoll: Ort: Weihergebiet bei Höchstadt. Zeit: 27.05.2016. Temperatur ca. 14 °C. Bei einer kurzfristigen Aufhellung kam die Sonne durch und es wurde innerhalb kurzer Zeit bis zu 22°C warm. Eine große Ansammlung von Höckerschwänen putzte gemeinsam das Gefieder und viele Schwäne streckten dabei einen der Füße aus dem Wasser und hielten ihn genau im rechten Winkel zum Sonnenstand. Es liegt nahe, dass ihre schwarzen Füße dadurch die Sonnenwärme aufnahmen. Dabei muss der Wärmeaustausch bei den Beinen unterschiedlich reguliert werden, denn das andere Bein soll im Wasser nicht Wärme verlieren, während das andere Bein die Sonnenwärme aufnehmen soll (Hubert Schaller).



Höckerschwäne halten eines der Beine in die Sonne. © H. Schaller.

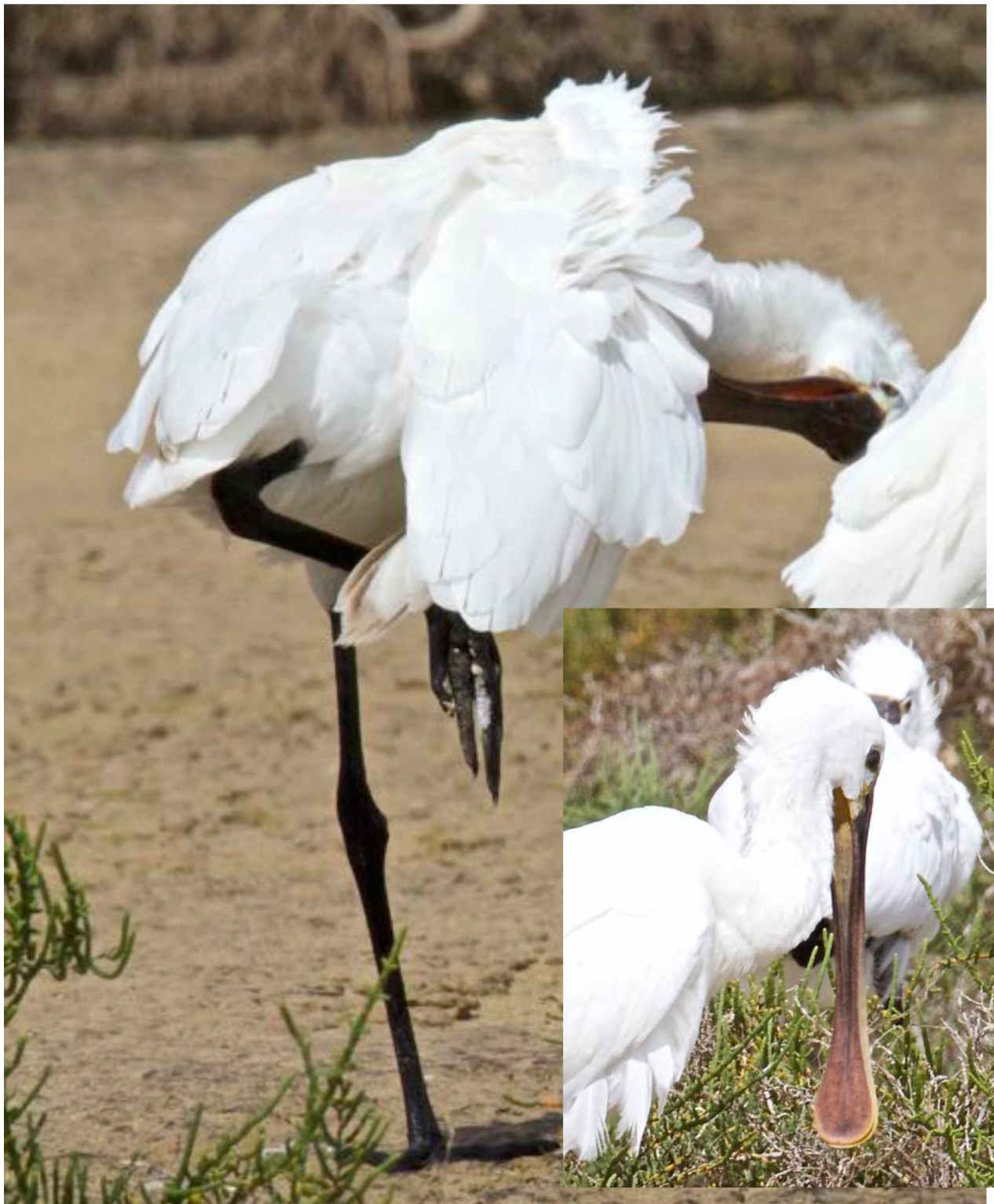
s. Wärmeregulierung über den Schnabel.

Auch der Schnabel enthält Blutgefäße. Beim Tukanschnabel ist das Netz der Adern sogar zu sehen. Der Tukan kann den Blutstrom im Schnabel je nach Bedarf drosseln oder erhöhen⁶³. Eine ähnliche Fähigkeit besitzt vermutlich auch der Löffler, der sowohl in den Niederlanden und in Dänemark brütet, aber auch in den subtropischen Zonen seine Körpertemperatur regulieren kann. Auf Fuerteventura konnten mehrere grüne Ringe einer dänischen Beringung gesehen werden. Beim Ruhen stecken Kraniche und Löffler ihre Schnäbel unter die Flügel, offensichtlich um einen unerwünschten Wärmeabfluss zu vermeiden. Der Siebschnabel bietet auch eine vergleichsweise riesige Oberfläche für diesen Zweck.



Ruhende Löffler. Einer beginnt sich zu putzen. Umgebungstemperatur ca. 18 °C. Windstärke ca. 6. Fuerteventura. 14.02.2016. © H. Schaller.

⁶³ Tukane: Riesenschnabel dient als Klimaanlage. Spektrum. 23.07.2009. News.



Löffler. Das Licht schimmert rot bzw. gelb durch die Haut zwischen den Unterkieferknochen. © H. Schaller.

Jungvögel haben orangefarbene Schnäbel, weil der wachsende Schnabel gut mit Blut versorgt werden muss. Die unterschiedliche Farbe des Oberschnabels der Löffler erklärt sich also aus dem Alter. Es könnte aber auch ins Auge gefasst werden, dass auch die aktuelle Durchblutung die Farbe des Unterschnabels unabhängig vom Alter leicht verändern kann. Vor allem kann die Haut zwischen den Unterkieferknochen ihre Farbe je nach Durchblutung unterschiedlich gefärbt sein, je nachdem ob Körperwärme abgegeben werden muss oder nicht.



Löffler mit unterschiedlicher Färbung des Oberschnabels. Umgebungstemperatur ca. 18 °C. Windstärke ca. 6. Fuerteventura. 14.02.2016. ©: H. Schaller.

Der noch ruhende Löffler mit Ring wurde als Pullus am 15.05.2014 bei Nibe in Dänemark beringt und ist also noch keine zwei Jahre alt. Er wurde schon am 30.10.2014 auf Fuerteventura gemeldet. Der beringte Löffler ist demnach höchstens ein Jahr alt.

Die Wärmeabgabe über den Schnabel ist vermutlich derartig groß, dass auch bei Temperaturen um 20° C ruhende Möwen ihren Schnabel ins Gefieder stecken.



Ruhende Korallenmöwe. Menorca. 27.08.2016. 8.00 h. Umgebungstemperatur ca. 20 °C. Photo: H. Schaller.

Danksagung: Für viele wertvolle Hinweise, für die Hilfe bei der Literaturrecherche und für die kritische Durchsicht sei Prof. Dr. Hartung und Hilmar Rausch sehr herzlich gedankt.

Benutzte Literatur:

- Bartholomew, G. A. and. Lasiewski R. C., Crawford E. C. Jr. : Patterns of Panting and Gular Flutter in Cormorants, Pelicans, Owls and Doves. The Condor, 70; 31-34, 1968.
- Beaman, M., Madge, St.: Handbuch der Vogelbestimmung. Europa und Westpaläarkt. Ulmer. 1998
- Bezzel, Einhard: Ornithologie. UTB 681. 1977.
- Busching Wolf-Dieter: Einführung in die Gefieder- und Rupfungskunde. Aula-Vlg. 2. Aufl. 2005.
- Frost, P. G. H und. Siegfried, W. R: Use of legs as dissipators of heat in flying passerines. Zool. Afr.10, 1975. S. 1001-102.
- Hayman, P., Hume, Rob: Vögel. Kosmos, 2009.
- Herzog, Karl: Anatomie und Flugbiologie der Vögel. Fischer. Jena 1968.
- H.E. Koralewski: Energiehaushalt und Temperaturregulation. Bioinformatik SS 2006 Cluster B4.
- Lewis, P. D.; Gous, R. M.: Responses of Poultry to Ultraviolet Radiation. Worlds Poultry Science Journal. 65, 3. 499-510. 2009.
- Naish, Darren: Sunbathing birds. Scientific American Blog Network. 01.08. 2011. 17:

- Christian Neumann: Zeigt her eure Füße. Thermoregulation beim Mauersegler. In: Der Falke. 62, 2015.
- Steen, Inger, Steen, J.B.: The Importance of the Legs in the Thermoregulation of Birds. Acta physiol. scand. Universität Oslo. 1965. 63. S. 285-291.
- Svensson, L., Mullarney, Zetterström, K.,D: Der Kosmos Vogelführer. 2009.
- Tukane: Riesenschnabel dient als Klimaanlage. In: Spektrum. 23.07.2009. News.
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Thermoregulation>.
- Yair,R.; Shahar,R.; Uni,Z.: Poultry Science. 94. 11. 2695-2707. 2015.